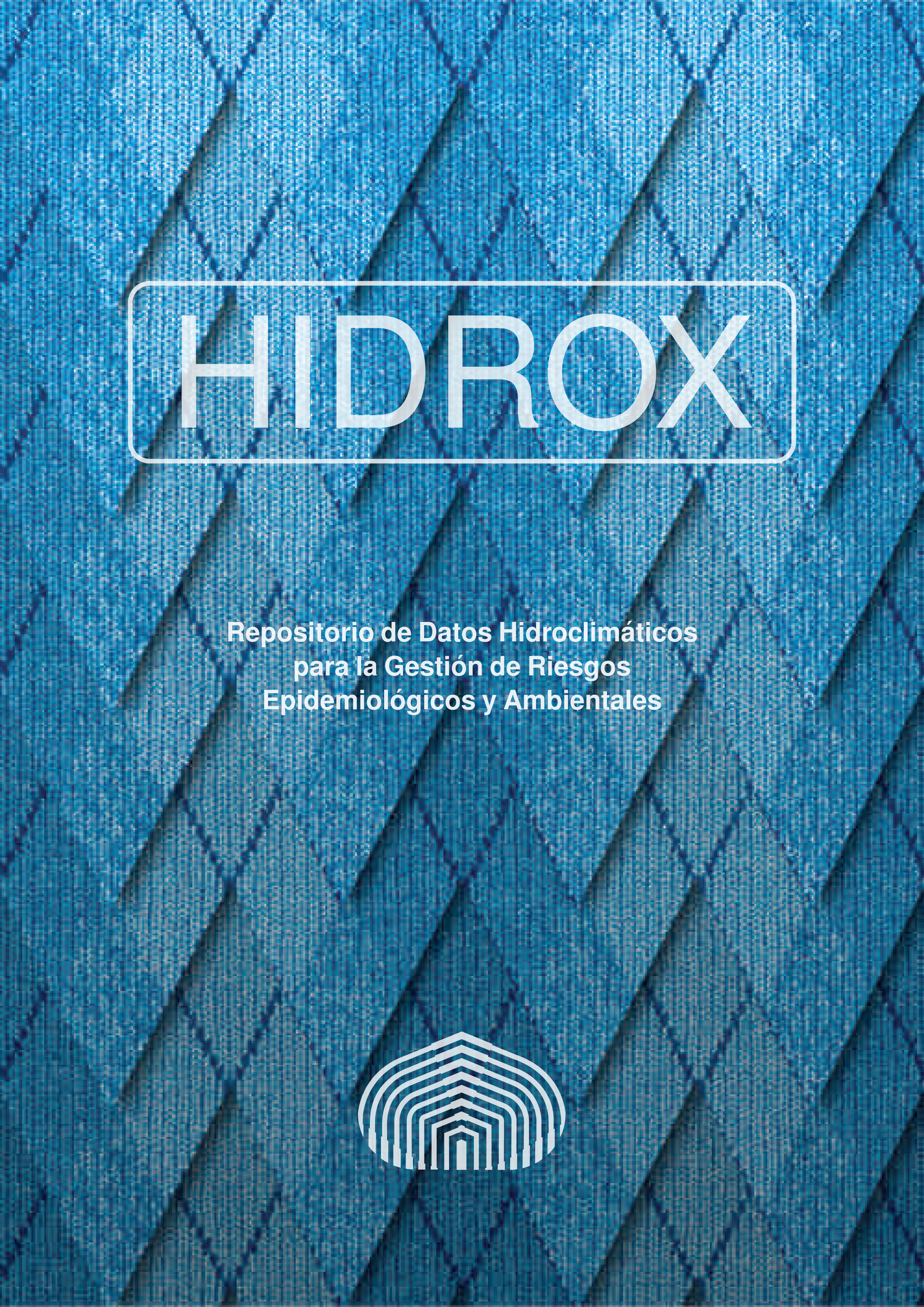
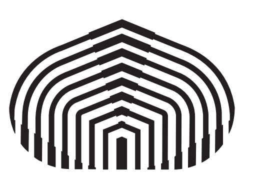

HIDROX
Repositorio de Datos Hidroclimáticos
para la Gestión de Riesgos
Epidemiológicos y Ambientales

HIDROX

INSTITUCIONES PARTICIPANTES

Universidad Simón Bolívar	**USB**
Centro de Estadística y Matemática Aplicada	**CEsMA**
Laboratorio de Base de Datos	**BWL**
Universidad Central de Venezuela	**UCV**
Ingeniería Hidrometeorológica	**IHM**
Instituto de Zoología y Ecología Tropical	**IZT**
Instituto de Geografía y Desarrollo Regional	**IGDR**
Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación	**FONACIT**







Este proyecto fue financiado por el FONACIT bajo el Programa de Apoyo a Grupos Número 2005000184

Editor: **Andrés M. Sajo–Castelli**
Colaboradores: **Desireé Villalta** y **Carlos Contreras Castillo**
Editor de mapas: **Raúl Ramírez Arbeláez**
Portada y contraportada: **Javier Pasamar Bravo** y **Andrés M. Sajo–Castelli**

Depósito Legal lf25220125742757 ISBN 987-9-8012596-2-6
Versión EB 2014.5.13



Repositorio de Datos Hidroclimáticos para la Gestión de Riesgos Epidemiológicos y Ambientales

Universidad Simón Bolívar

Centro de Estadística y Matemática Aplicada	Lelys Bravo de Guenni Isabel Llatas
Laboratorio de Bases de Datos	Soraya Abad Mota

Universidad Central de Venezuela

Departamento de Hidrometeorología	Abraham Salcedo
Instituto de Zoología y Ecología Tropical	Laura Delgado Santiago Ramos
Instituto de Geografía y Desarrollo Regional	Karenia Córdova

Prefacio

La disponibilidad de información climática adecuada es fundamental para la planificación y explotación eficiente de nuestros recursos naturales. La totalidad de estudios ecológicos, hidrológicos, agronómicos y epidemiológicos orientados hacia la mejora de la gestión de riesgos, requiere de información climática de diversa índole con la que las relaciones clima-sistema pueden ser consideradas y validadas.

En Venezuela, varias instituciones mantienen redes de estaciones meteorológicas e hidrométricas, entre las que se mencionan: Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MINAMB), ente que mantiene la red más extensa; Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), ente que mantiene una red al servicio de las ciencias agrícolas y la actividad agropecuaria a nivel nacional; Corporación Venezolana de Guayana y Electrificación del Caroní (CVG-EDELCA) que mantiene una red de estaciones hidrometeorológicas mayormente localizadas en el estado Bolívar, cuyo fin primordial es la cuantificación de los recursos hídricos de la zona; la Aviación Militar Bolivariana, quien mantiene la red nacional más importante al servicio de la aviación venezolana. En el caso de precipitación, se disponen en el país de alrededor de unas 2000 estaciones, muchas de las cuales no se encuentran operativas actualmente.

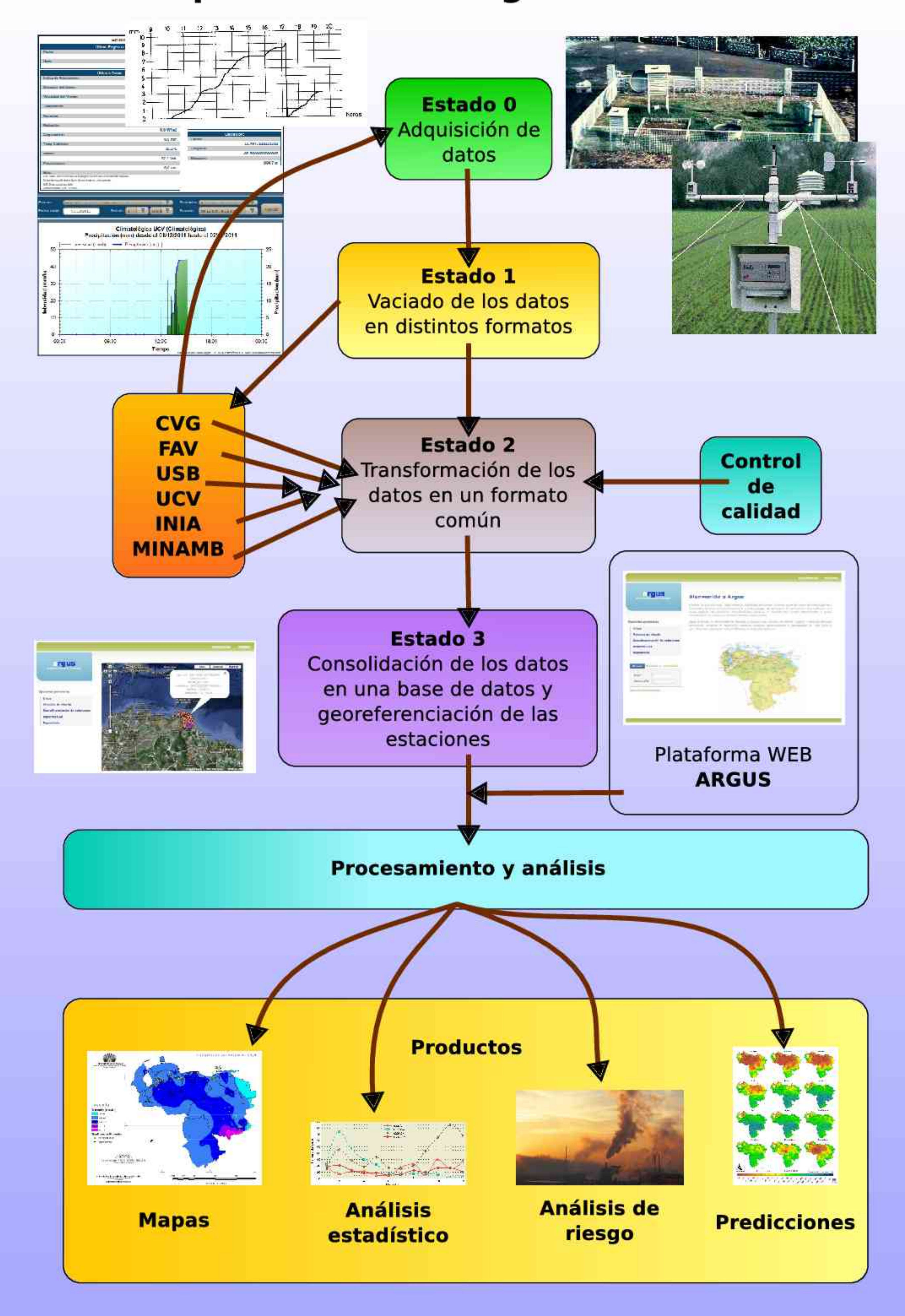
Los usuarios de la información hidrometeorológica en Venezuela frecuentemente deben recurrir a distintas dependencias para obtenerla. En la mayoría de los casos, la información obtenida consiste de datos crudos, con problemas de calidad y una alta proporción de datos faltantes, por lo que el usuario debe realizar el preprocesamiento y análisis estadístico previamente.

Además de los problemas descritos anteriormente, podríamos mencionar que las distintas instituciones utilizan diferentes herramientas computacionales para el almacenamiento y manejo de las bases de datos hidrometeorológicos. Así mismo, es posible que el tratamiento estadístico de los datos que incluye entre otros, el relleno de datos faltantes y la corrección de errores, necesarios para producir los resúmenes climatológicos e hidrológicos de la información, difiera entre los conjuntos de datos, inclusive si provienen de la misma institución.

Estos y otros antecedentes nos llevaron, en el año 2005, a plantear el proyecto HIDROX ante el Programa de Apoyo a Grupos del Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación. El informe que presentamos en estas páginas es el producto final de HIDROX, resultante del esfuerzo conjunto de especialistas de distintas disciplinas, ejemplo del trabajo multidisciplinario.

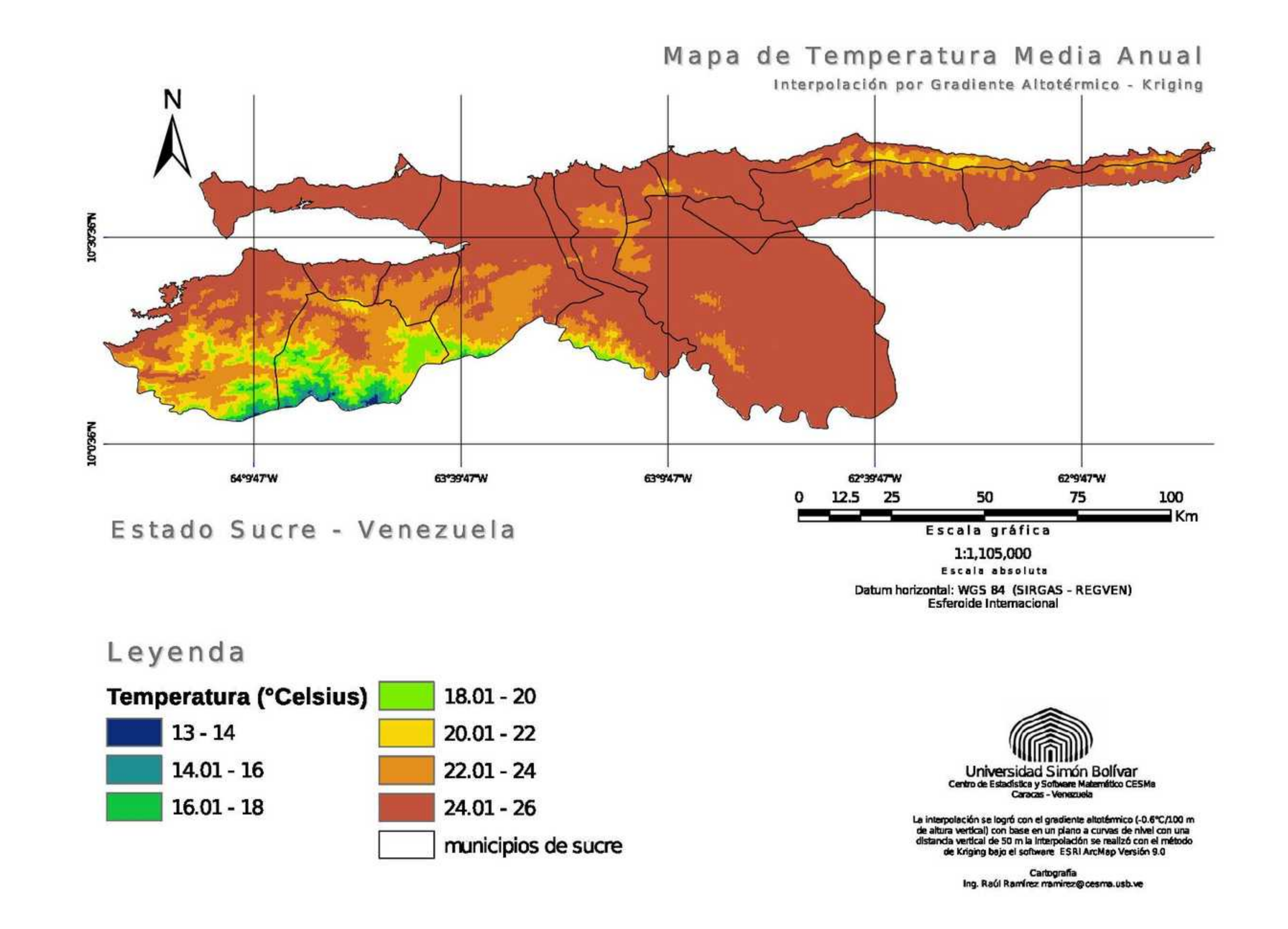
En este material proponemos, por una parte, una metodología que esquematizamos en la página siguiente, para la construcción de un repositorio de datos hidroclímaticos, que permita el acceso a la información mediante una plataforma Web, sin tomar en cuenta los distintos formatos de almacenamiento que utilizan las diversas instituciones que gestionan las redes de medición y, por otra, mostramos la importancia del manejo adecuado de la información climática para la comprensión de los riesgos epidemiológicos y ambientales.

Esquema metodológico de HIDROX

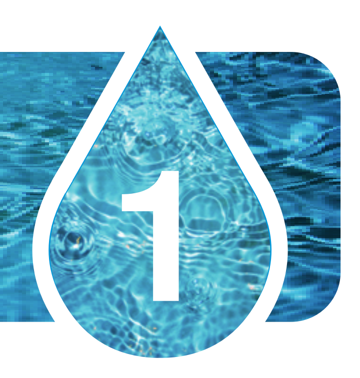




Índice general


Mapa de Temperatura Media Anual
Interpolación por Gradiente Altotérmico - Kriging
N
10°30'36"N
10°0'36"N
64°9'47"W
63°39'47"W
63°9'47"W
62°39'47"W
62°9'47"W
0 12.5 25 50 75 100
Km
Escala gráfica
1:1,105,000
Escala absoluta
Datum horizontal: WGS 84 (SIRGAS - REGVEN)
Esferoide Internacional
Estado Sucre - Venezuela
Leyenda
Temperatura (°Celsius)
13 - 14
14.01 - 16
16.01 - 18
18.01 - 20
20.01 - 22
22.01 - 24
24.01 - 26
municipios de sucre
Universidad Simón Bolívar
Centro de Estadística y Software Matemático CESMa
Caracas - Venezuela
La interpolación se logró con el gradiente altotérmico (-0.6°C/100 m de altura vertical) con base en un plano a curvas de nivel con una distancia vertical de 50 m la interpolación se realizó con el método de Kriging bajo el software ESRI ArcMap Versión 9.0
Cartografía
Ing. Raúl Ramírez rramirez@cesma.usb.ve

¿Cómo ha sido la gestión de los datos hidroclimáticos en Venezuela?



Varias personas entre las que se destacan Eduardo Röhl, Antonio Goldbrunner, Gustavo Silva y más recientemente Carlos Ferrer, han escrito sobre la historia de las mediciones y observaciones meteorológicas en Venezuela, con detalles que se pueden conseguir en sus publicaciones.

Para resumir la historia de las actividades de medición de variables hidrometeorológicas en Venezuela es conveniente considerar que ésta abarca cinco períodos, que se inician con las observaciones realizadas entre 1745 y 1758 para fijar astronómicamente los límites entre la Corona Española y Portugal, hasta la reciente creación del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, con la aprobación de la Ley de Meteorología e Hidrología Nacional, en Diciembre de 2006 (Gaceta oficial Número 5.833).

La segunda etapa de las observaciones comenzó con el trabajo más sistematizado que realizaron Humboldt y Bonpland hacia 1799. Se conocen algunos relatos que son precursores de las mediciones en nuestros ríos y algunos otros datos dispersos en los documentos de la época, donde muchos particulares y algunas instituciones realizaron mediciones y cálculos meteorológicos, descripciones climatológicas e hidrológicas.

La tercera etapa se puede identificar con la creación, en 1888, del Observatorio Astronómico y Meteorológico de Caracas, en la "Colina de Quintana", luego "Colina Cajigal" siendo ésta la precursora de las redes de medición en Venezuela. A partir de esta experiencia, organismos como el Ministerio de Obras Públicas, el Gran Ferrocarril de Venezuela, el Ministerio de Agricultura y Cría, el Ministerio de Sanidad y Asistencia Social, la Fuerza Aérea de Venezuela, la Armada, el Instituto Nacional de Obras Sanitarias y el Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias, instalaron y operaron redes nacionales para sus propósitos específicos, mientras que empresas regionales como la Electricidad del Caroní, el Desarrollo Hidroeléctrico Uribante-Caparo, el Sistema Hidráulico Yacambú-Quibor, el Sistema Hidráulico Cojedes y otros, han instalado y operado redes de medición (a veces en conjunto con otros organismos nacionales) para fines particulares y atendiendo sólo requerimientos locales.

Empresas y particulares privados, universidades y centros de investigación, han mantenido igualmente estaciones para sus fines específicos. La creación y mantenimiento de estas redes de propósitos disímiles conforman la cuarta etapa de las mediciones en Venezuela. Muchos de los entes a cargo de estas redes han cambiado sus fines, desaparecido o se han fusionado y sus redes han corrido con la misma suerte,

ya que en muchos casos han desaparecido o perdido operatividad, con la consiguiente pérdida del registro histórico.

A este panorama se le debe sumar que las tecnologías de captura de datos no siempre han estado acordes con los avances electrónicos, ni tampoco los cambios tecnológicos han sido realizados de manera coordinada y, en el presente, hay una mezcla de tecnologías que no está apropiadamente documentada.

A pesar de que el desarrollo de la medición y las redes no ha sido muy coherente, actualmente tenemos un patrimonio de datos e información amplio, con una distribución espacial y temporal que puede ser relevante para la toma de decisiones en materia de planificación, diseño de obras, operación y alertas hidrometeorológicas. Sin embargo, un problema fundamental para la oportuna toma de decisiones con la información recabada, es el difícil acceso a ésta, ya que los organismos que producen datos no han contado con sistemas eficientes para su almacenamiento y difusión.

Al igual que con la instrumentación y las redes de medición los sistemas usados para el resguardo de la información, han sido muy heterogéneos, incluyendo desde sistemas manuales de archivos hasta sistemas electrónicos. Estos han evolucionado a la par de los avances del *hardware* pero no acorde al del *software* o de los *sistemas de información*. Por ello, no se han realizado las migraciones correspondientes a los avances, con enormes pérdidas de información en cada actualización del hardware. El Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, que heredó las redes del Ministerio de Obras Públicas, del Ministerio de Agricultura y Cría (parte de ella) y del Instituto Nacional de Obras Sanitarias, tiene el mayor volumen de información tanto en medios manuales como electrónicos, fundamentalmente pluviométrica, hidrométrica y climatológica. La Fuerza Aérea tiene el mayor volumen meteorológico y la Armada y el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (antes FONAIAP) cuentan con cantidades importantes de información en diversos medios. EDELCA es la institución que ha obtenido mejores logros en la automatización, pero aún así, todavía tiene mucha información en medios manuales y sus adaptaciones a nuevos software y sistemas sigue siendo un problema agobiante.

La generación de aplicaciones y productos para la toma de decisiones para la sociedad en general ha sido otro problema, primero porque los organismos prestaban o prestan servicios enfocados fundamentalmente hacia el interior de sus instituciones; segundo, debido a la descoordinación entre instituciones y en tercer lugar por la falta de medios tecnológicos para generarlos.

La quinta etapa de desarrollo de las mediciones y observaciones en Venezuela se inicia con la operatividad del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología en el año 2009, ente que incluye entre sus funciones la coordinación, reglamentación y supervisión de las actividades de instalación, operación y mantenimiento de las redes nacionales, así como la creación, desarrollo y mantenimiento del Banco Nacional de Datos Meteorológicos, y la generación de productos y difusión de información y conocimientos.

Esta etapa podrá marcar el paso de una diversidad de instituciones que bajo sus fines específicos, cambiantes en el tiempo, han contribuido a la recolección y almacenamiento de la información, con la generación de productos particulares, y una difusión

un poco confusa a usuarios insatisfechos y con crecientes demandas, a un esquema más ordenado, considerando que este Instituto debe generar políticas que permitan la real sistematización de la recolección, procesamiento y difusión de la información hidrometeorológica, así como la elaboración de productos diversos para la colectividad, ya sea bajo políticas de estado o demandas específicas de colectividades, empresas públicas o privadas y la sociedad o individuos en general.

Es necesario recuperar toda la información histórica de todos los organismos, en todos los medios y crear un repositorio que permita cumplir con los requisitos nacionales. De allí la importancia de esta iniciativa HIDROX para Venezuela.

¿Qué pasa en Latinoamérica con la gestión de los datos hidroclimáticos?

En Latinoamérica hemos avanzado en los servicios meteorológicos con unos modelos de organización copiados de los modelos europeos, y en los servicios hidrológicos con una mezcla europea-norteamericana. Debido a la diferencia entre los países, surgen también diferencias entre las organizaciones. En general, los servicios latinoamericanos tienen algunos aspectos en común: en primer lugar casi todos los servicios meteorológicos han evolucionado de la Armada (o Marina) hacia la Fuerza Aérea, en tanto que los servicios hidrológicos se han desarrollado en función de las obras hidráulicas y las necesidades del desarrollo de recursos hídricos; en segundo término, debido a que la función meteorológica es más universal y se cuenta con una sola autoridad mundial con lineamientos más explícitos en esa materia en cuanto a captura (fundamentalmente) y normas de almacenamiento (menos claras) y aunque no siempre es fácil cumplirlas, los países comparten una misión más precisa.

En materia hidrológica el panorama es más complicado. En cada país hay más de una agencia encargada de la misión (lo cual aumenta en función de las dimensiones de cada país). La guía latinoamericana ha sido en general el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, por su siglas en inglés) y como las agencias internacionales de hidrología (OMM, PHI, OEA) no generan lineamientos comunes, hay más diversidad de criterio. Estos vacíos de políticas a nivel internacional se traducen en estrategias diversas en cuanto a medición, almacenamiento y difusión, no sólo entre los países, sino en cada país en sí.

En los últimos años se evidencian dos tendencias claras en los servicios latinoamericanos: en primer lugar la fusión de los servicios meteorológicos con los servicios hidrológicos; y en segundo lugar, la no dependencia de las Fuerzas Armadas (meteorología), ni de los ministerios de obras (hidrología). En su lugar se han creado institutos autónomos o dependientes de ministerios del ambiente (nuevos en su mayoría). Esto ha generado una estrategia de desarrollo más acorde con las necesidades de la población: en primer lugar, con la gestión de riesgo que es más intersectorial; en segundo lugar, con la protección del ambiente y los cambios climáticos; en tercer lugar, con aspectos fundamentales del desarrollo como son la planificación de los recursos hídricos (ahora más asociado con la meteorología y la climatología), las obras hidráulicas y la navegación (terrestre, aérea, marítima y fluvial) y en cuarto lugar, el sector productivo en general, se ve más favorecido por la relación directa con las dos ciencias.

En el año 2005, motivados por los problemas mencionados anteriormente y entendiendo la necesidad de recuperar la información hidroclimática histórica de todos los organismos, en todos los medios, propusimos ante el Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (FONACIT) un proyecto denominado “Desarrollo de un repositorio de datos hidroclimáticos para la gestión de riesgos epidemiológicos y ambientales”, que fue aprobado en noviembre de ese año. Los productos de este proyecto, que hoy llamamos HIDROX, son nuestra contribución a la consolidación requerida, para que en esta etapa de la gestión de datos hidroclimáticos en Venezuela se logre mejorar el acceso a la información histórica y se ponga a la disposición de múltiples usuarios, productos específicos útiles para la toma de decisiones, en particular, para la gestión de riesgos epidemiológicos y ambientales.



¿Qué es un repositorio de datos hidroclimáticos (RDHC)?



Muchas organizaciones en el mundo se dedican al registro de *datos del clima* (temperatura del aire, humedad, volumen de precipitación, entre otros). Estos datos generalmente se guardan en secuencia de acuerdo a su ocurrencia en el tiempo. Cada medida de este tipo, tiene además asociado el punto geográfico donde fue tomada e, idealmente, también se deberían conocer detalles del equipo de medición.

La temperatura del aire, la humedad, el volumen de precipitación, son ejemplos de variables climáticas. Una *variable climática* describe una característica del estado de la atmósfera.

En todo país también es relevante registrar datos sobre el caudal de sus ríos, de los cuales se miden otros aspectos, por ejemplo, los sedimentos; en general, para toda masa de agua es importante medir datos que permitan luego analizar el impacto de procesos como el cambio climático. A los datos que describen las masas de agua se les denomina *datos hidrológicos*.

Se utiliza el término *datos hidroclimáticos* para referirse a datos climáticos o a datos hidrológicos.

El registro de los datos hidroclimáticos se ha realizado desde hace muchos años con una gran variedad de equipos, los cuales han evolucionado en el tiempo. Una **variable hidroclimática simple**, es aquella cuya magnitud puede ser obtenida utilizando un **instrumento de medición**. Por su parte, una **variable hidroclimática derivada**, es aquella cuya magnitud puede ser obtenida mediante un **procedimiento** que puede involucrar la medición de otras variables e incluso análisis de laboratorio. Un procedimiento común es el de estimar la magnitud de la variable a partir de determinada relación constante existente entre ella y una o más variables simples. Es importante considerar que una misma variable hidroclimática puede pertenecer simultáneamente a estos dos tipos. Para representar la magnitud de una variable hidroclimática, se utiliza determinada **unidad**.

Los instrumentos de medición tienen un elemento sensible o *sensor*, que es la parte del instrumento cuyas variaciones permiten conocer la magnitud de la variable. En forma general, estos instrumentos pueden ser clasificados de la siguiente manera:

1. **Manuales:** permiten obtener el valor buscado en el momento de efectuar la medición mediante la lectura directa o visual.

2. **Registradores:** poseen un dispositivo registrador por el cual las variaciones en la magnitud de la variable se van plasmando en forma continua a través del tiempo; bien sea en una banda de papel, o en formato digital (archivo). Los instrumentos registradores pueden ser de varios tipos, a saber:

   - **Mecánicos:** cuando tanto el sensor, como el dispositivo registrador son mecánicos.
   - **Electrónicos:** cuando desde el sensor hasta el registro se llevan a cabo por medios electrónicos.
   - **Electromecánicos:** son una combinación de los mecánicos y electrónicos.

Nótese que pese a su variación continua en el tiempo y en el espacio, las variables hidroclimáticas usualmente se miden en puntos de muestreo, es decir, en un sitio fijo en el espacio. De hecho, la naturaleza del problema meteorológico requiere que se hagan mediciones frecuentes, y que estas sean llevadas a cabo simultáneamente y de la misma manera en muchos lugares. Para regular ésta y otras cuestiones, fue creada la Organización Meteorológica Mundial.

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) es un organismo con sede en Ginebra, el cual forma parte de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), y es la voz científica y autorizada en cuanto concierne al estado y al comportamiento de la atmósfera y el clima de la Tierra [54].

Los fines de la OMM son facilitar la cooperación internacional en servicios y observaciones meteorológicas, promover el intercambio rápido de información meteorológica, la normalización de las observaciones meteorológicas y la publicación uniforme de observaciones y estadísticas. También fomenta la aplicación de la meteorología a la navegación aérea y marítima, a los problemas del agua, a la agricultura y a otras actividades humanas, promueve la hidrología operativa y estimula la investigación y capacitación en meteorología. La OMM busca pues, el acuerdo y la cooperación entre los países miembros de la organización; y para cumplir con los objetivos anteriormente señalados ha puesto en marcha un gran número de programas [54].

Una **estación meteorológica** es el lugar donde se llevan a cabo las mediciones de las variables hidroclimáticas [55]. Cada estación meteorológica es mantenida y operada por una **institución**. Entre las instituciones que han desempeñado esta labor en Venezuela, se encuentran: el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (MARN), el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), la Corporación Venezolana de Guayana y Electrificación del Caroní (CVG - EDELCA), la Aviación Militar Bolivariana (FAV) y la Universidad Central de Venezuela (UCV) [2]. Más recientemente, inició su funcionamiento el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH), el cual será el ente encargado de las estaciones y las mediciones que anteriormente realizaba el MARN.

Los datos acumulados de la recolección de las mediciones de varios instrumentos, ubicados en estaciones, por un período largo de tiempo, derivan en un gran volumen. Si se dispone de ellos en forma digital, se pueden almacenar en un computador, copiarse y enviarse de manera expedita.

Generalmente, los datos hidroclimáticos se almacenan como un conjunto de datos agrupados por *variable* medida, por unidad de *tiempo* y por *instrumento* de medición; el *instrumento* está ubicado dentro de una *estación*, la cual se identifica con un *número de serial*. Este a su vez se deriva de las *coordenadas geográficas* donde se encuentra la estación. El dato en sí consiste de un valor numérico expresado en alguna unidad de medición, y representa el valor de una variable hidroclimática en ese momento en ese punto de la geografía de un país.

No es usual agregar una estructura adicional a los datos, por el contrario, los datos se almacenan por separado, es decir, cada conjunto de datos de una variable en un lugar, en un tiempo, es independiente y separado de los demás conjuntos de datos análogos. Esta manera de almacenarlos es apropiada si lo único que se desea ofrecer a un usuario es un conjunto de datos de una variable, en un espacio y en un tiempo. Sin embargo, si se quieren seleccionar algunos datos con criterios mas sofisticados, por ejemplo, en cuáles estaciones se puede medir la precipitación, la estrategia de tener los *datos separados* o *sueltos* no es la más apropiada. Para que los datos sean de utilidad a una variedad de usuarios y aplicaciones, se debe ofrecer la posibilidad de consultar los datos hidroclimáticos de manera fácil, flexible y amplia, y que se obtenga una respuesta satisfactoria en un tiempo apropiado, a quien hizo la solicitud.

La definición del Diccionario de la Real Academia Española para el término *repositorio* es: “Lugar donde se guarda algo”; el término análogo en inglés se refiere a: “a place where things may be put for safekeeping”.

En las disciplinas de biología, medicina, las geociencias, las ciencias de la computación y en las redes sociales, el término involucra una colección de datos de gran tamaño, dispuestos para su uso por una comunidad amplia de usuarios. Las características más importantes asociadas a un repositorio se pueden enunciar de la siguiente forma: es público, centralizado, pertenece a una nación, es confiable y posee mecanismos de seguridad. En este proyecto se define un repositorio de datos como una estructura centralizada que integra datos de diferentes fuentes, relativas a un dominio común.

Una *base de datos* por su parte, es una colección de datos relacionados y almacenados en un computador; en una base de datos, las interrelaciones entre los ítems se hacen explícitas. Una base de datos se autodescribe, en el sentido de que dentro de la base de datos se almacenan *metadatos* que describen los datos contenidos en ella. Ambos elementos, datos y metadatos, se almacenan en la base de datos y cada uno de ellos tiene una función importante cuando los usuarios plantean sus requerimientos en forma de consultas.

Uno de los objetivos centrales del proyecto, cuyos resultados se describen en este libro, fue desarrollar un *repositorio de datos hidroclimáticos*; la materialización de este objetivo es la construcción de una base de datos donde se puedan almacenar los datos hidroclimáticos, para su posterior utilización por parte de una gran comunidad de investigadores del clima y el público en general.

Estructurar todos los datos *sueltos* en un repositorio es algo más que simplemente almacenarlos en forma digital en un computador. Ello implica diseñar una estructura dónde almacenar los datos de manera que permita responder a una variedad de

preguntas. Para esto los datos deben estar relacionados apropiadamente en esa estructura.

En los próximos capítulos de este libro se describe el proceso de construcción del repositorio y los mecanismos previstos para su uso.

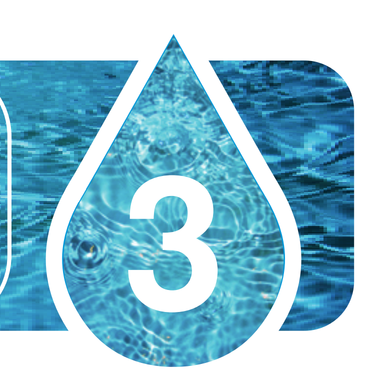
Un aporte fundamental de este proyecto es el diseño y construcción de un repositorio de datos hidroclimáticos, donde almacenar años de datos recolectados en estaciones que contienen instrumentos de medición de variables hidroclimáticas.

Las ventajas de construir el repositorio son muchas, a saber: se tienen los datos organizados para un fácil acceso; se pueden hacer preguntas o consultas sofisticadas a los datos y no simplemente copiar un conjunto de datos, para ser procesados en otro ambiente; las respuestas a esas consultas pueden obtenerse en menos tiempo con menos esfuerzo de parte del usuario, y se puede responder un universo muy grande de preguntas, con esa misma organización de los datos. Adicionalmente, al tener los datos en una instalación centralizada, se pueden establecer mecanismos de protección y seguridad de lo almacenado allí.

El desarrollo del repositorio comenzó con la redacción del universo de discurso; para esa tarea y para las primeras versiones del modelo conceptual de la base de datos, la participación de la Ingeniero Adrianna Adrián fue muy valiosa; Adrianna se dedicó con todo su entusiasmo de recién graduada a esta actividad dentro del proyecto.

En las primeras fases del desarrollo del proyecto, se instaló un sitio web para intercambiar documentos y opiniones entre los grupos y laboratorios participantes, en ese desarrollo trabajaron varios estudiantes de Ingeniería en Computación de la USB, queremos destacar especialmente la labor de los ahora ingenieros, Adrian Kunhle y Alejandro Ibarra.

¿Cómo se construye un RDHC?



En este proyecto, el enfoque a la construcción del repositorio es a través de una base de datos. Como se indicó anteriormente, una base de datos es una colección de datos relacionados, almacenada en un computador y utilizada posteriormente como insumo para un conjunto de aplicaciones desarrolladas con propósitos específicos. Lo esencial de este enfoque es que al almacenar y mantener las interrelaciones existentes entre los datos, se puede responder a una gran cantidad de preguntas sobre los mismos y se pueden descubrir hechos que son difíciles de observar teniendo los datos por separado.

Estructurar los datos de un dominio en una base de datos tiene otras muchas ventajas, a saber, se pueden establecer estándares sobre la recolección y el almacenamiento de los datos, se puede controlar la calidad de los mismos, se pueden establecer controles para mantener la integridad de los datos, se puede hacer seguimiento de quiénes usan los datos y para qué, de modo de detectar fraudes. Quizás una de las ventajas mas importantes es la de poder compartir los datos entre un mayor número de usuarios.

La buena práctica del desarrollo de una base de datos, indica que se debe comenzar por la determinación de los requerimientos de información de los usuarios que van a accederla. Con los requerimientos como insumo se realiza el proceso de diseño, el cual consiste de tres fases, el diseño conceptual, el diseño lógico y el diseño físico.

De las etapas del diseño de la base de datos, la más crítica es la del diseño conceptual, donde se especifica la estructura de la base de datos, en términos del modelo de datos conceptual a utilizar. El modelo de datos utilizado en esta fase debe ser de un alto nivel de abstracción para permitir enfocarse en los datos sus propiedades y sus interrelaciones, sin preocuparse por los detalles de representación o almacenamiento en un computador. El producto de esta fase del diseño se llama *esquema conceptual*. El esquema conceptual debe ser preciso, natural, simple, claro y fiel a la realidad de donde se extraen los datos; con el esquema conceptual se deben poder satisfacer todos los requerimientos de información especificados al comienzo del proceso de diseño.

El requisito principal para lograr un buen diseño es conocer los datos y el dominio donde ellos se producen y se usan. Es por ello que el primer paso del diseño conceptual es la redacción de un *universo de discurso (UD)* que consiste de una descripción detallada de los datos en el contexto de su dominio. En el *UD* se describen los objetos mas importantes del dominio, se dan sus características y se establecen las interrelaciones entre ellos. Cada uno de estos objetos será luego una de las principales

estructuras contenidas en la base de datos. El *UD* sirve de guía para la construcción del esquema conceptual, que involucra la representación de cada uno de los objetos importantes con un concepto del modelo de datos utilizado; luego se le añaden detalles para registrar con precisión todos los datos necesarios a incluir en la base de datos.

La Figura 3.1 muestra el diagrama del esquema conceptual principal del proyecto. Como bien lo sintetizan Parent et al. en [73] (p. 22), un diagrama que provea un soporte visual con notaciones limpias e intuitivas, es un vehículo para facilitar la discusión y la evaluación de la definición del esquema de la base de datos.

El esquema conceptual de este proyecto se desarrolló en tres etapas, a saber el subesquema de *metadatos*, el subesquema de *inventario* y el subesquema de *medidas*.

En el subesquema de *inventario* la entidad central es la ESTACIÓN METEOROLÓGICA. Las estaciones se ubican en los estados de un país. Los instrumentos de medida de las variables climatológicas se colocan en las estaciones. Cada estación se asocia con los cambios realizados, por acciones de mantenimiento a la estación o a los instrumentos residentes en ella. En este subesquema se colocan también los datos de las instituciones que operan las estaciones.

Otras entidades vitales en este subesquema son PARÁMETRO e INVENTARIO PARÁMETRO. Los parámetros son los que pueden tener valores. Un parámetro puede ser una variable climatológica o hidrológica, o puede ser un valor calculado al aplicar una función o un cómputo a los valores de una variable. El valor agregado luego se asocia a los parámetros que se utilizaron en su cálculo. La entidad INVENTARIO PARÁMETRO, contiene un resumen de las colecciones de datos almacenados en el repositorio; cada instancia de esta entidad está asociada a través de la interrelación *proveeDatos* con la institución, el parámetro, la unidad y la estación donde se recolectó el conjunto de datos.

En el repositorio también se almacenan los productos; algunos ejemplos de productos son valoraciones de tendencias y reportes de valores extremos. Cada producto se asocia con el procedimiento utilizado para generarlo.

Por otra parte, un *datawarehouse (DW)*, o almacén de datos es un caso particular de una base de datos que se diseña y construye para facilitar el análisis de los datos para la toma de decisiones estratégicas. Se puede decir que el esquema conceptual de un *DW* es más simple que el de una base de datos en general. Algunos autores han definido esquemas conceptuales prototípicos para los *datawarehouses*; uno de estos esquemas, es el esquema estrella, el cual se utiliza ampliamente en este proyecto.

Los *datawarehouses* tienen su origen en las bases de datos multidimensionales; este término se refiere a un área de estudio más formal que comenzó a principios de la década de los 80, con los trabajos en bases de datos estadísticas, en las cuales los datos crudos se combinan con el uso de funciones agregadas. El primer uso de este tipo de estructuras fue en el análisis estadístico y socioeconómico. En la década de los 90, se desarrolló dentro de esta área el *OLAP (On-Line Analytical Processing)* que se aplicó al análisis de datos de negocios. El término *datawarehouse* se comenzó a utilizar al final de los años 90, en el contexto del *OLAP*. Los autores mas citados en el diseño y construcción de *datawarehouses* para aplicaciones de negocios son Kimball

y Ross [47] e Inmon [46]. Una presentación más formal de los modelos, operadores y álgebras para bases de datos multidimensionales se puede encontrar en [64].

El subesquema de *medidas* contiene los valores medidos para cada una de las variables que se almacenan en el repositorio. Estos datos pueden considerarse datos multidimensionales, los cuales son definidos por Rafanelli en [64] como datos en los cuales un hecho se cuantifica con un conjunto de medidas, obtenidas al aplicar una o más funciones de agregación complejas a datos *crudos*. Las medidas se caracterizan por una serie de propiedades, llamadas *dimensiones*.

En la Figura 3.1 el subesquema de medidas está representado por las estructuras (rectángulos) etiquetados con los títulos de MEDIDA VAR HC y MEDIDA VAR SE, cada una marcada con una estrella. Estas estructuras no corresponden a simples entidades, sino que cada una de ellas representa un esquema estrella de los descritos en el área de *datawarehouses* (ver [47] y [46]).

Nuestra propuesta para el esquema conceptual es utilizar una representación híbrida. Los metadatos y los datos de inventario se representan utilizando el modelo conceptual Entidad Interrelación Extendido (EER por sus siglas en inglés) [33]; los valores de las variables climatológicas, hidrológicas y socioeconómicas se representan con esquemas estrella. Al estructurar el repositorio de esta forma, se aprovechan los conceptos más apropiados para representar cada tipo de dato. Estas estructuras proveen una gran riqueza de consultas que pueden hacerse y que combinan diferentes aspectos del dominio de los datos. Una descripción más detallada del esquema conceptual puede encontrarse en [1].

Implementación y carga

Antes de implementar la base de datos, se debe seleccionar un *sistema manejador de base de datos, DBMS*, por sus siglas en inglés, *database management system*. Todo *DBMS* está basado en un modelo de datos de menor nivel de abstracción al utilizado en el diseño conceptual, y provee estructuras lógicas y físicas para el almacenamiento de la base de datos, por lo cual juega un rol crucial en las fases de diseño lógico y de diseño físico. Casi todos los *DBMS* disponibles utilizan el modelo relacional como modelo lógico de datos subyacente.

El principio fundacional de este proyecto es el de poner las Ciencias de la Computación al servicio de las otras ciencias involucradas en el proyecto, a saber, la Meteorología, la Estadística y la Epidemiología. El mayor reto fue cómo ofrecer soluciones en cuanto al manejo y mantenimiento de los datos, con la mayor comodidad y menos restricciones para el usuario.

Como se ha mencionado anteriormente, la base de datos que constituye el repositorio tiene dos componentes, el componente de *datawarehouse* es el que impone los mayores retos con respecto a la carga de los datos; existen muchos años de observaciones de variables, almacenadas en diferentes medios y formatos. La fuente de estos datos son principalmente, bandas de papel y archivos digitales *planos*.

Las bandas de papel contienen datos crudos, como fueron registrados por los instrumentos de medición. Uno de los objetivos del proyecto es el de recuperar la mayor cantidad de datos de las bandas originales. Las bandas de papel se recolectaron, *escanearon* y digitalizaron; en el repositorio se almacenará una imagen de la banda y

los datos obtenidos de la interpretación de la misma. Para la obtención de los datos de las bandas se ha utilizado una aplicación donde un operador sigue la curva en la imagen digitalizada y produce los valores contenidos en ella.

En los años de recolección de datos, se han transcrito los valores de bandas y otros medios de registro, y se han almacenado en archivos digitales. La mayoría de los datos históricos están disponibles de esta forma, pero la calidad de esos datos no ha sido evaluada y se espera que haya errores dados por la forma cómo se construyeron los archivos. La idea es cargar estos datos y luego ejecutar procedimientos de medición de la calidad sobre ellos.

Cuando una organización construye un *datawarehouse*, los datos para poblar esas estructuras se toman de bases de datos operacionales y se construyen procedimientos de extracción, transformación y carga. En el caso de este proyecto, no hay bases de datos operacionales de donde extraer los datos. Se han desarrollado rutinas manualmente, para cargar los datos de los archivos digitales en las estructuras del repositorio. Cada tipo de archivo digital tiene datos específicos en un formato propio; para cada tipo de archivo se ha construido un procedimiento que hace la correspondencia entre las estructuras del *datawarehouse* y el formato particular del archivo, para que al ejecutarse se llenen de datos esas estructuras.

En este proyecto se ha construido un esquema conceptual de las estructuras que van a almacenar datos hidroclimáticos. El esquema conceptual, tuvo un alto costo de desarrollo, pero la riqueza semántica del modelo permite satisfacer las necesidades de información de un universo mayor de usuarios con requerimientos variados. La esencia de cómo se puede responder a tantas preguntas es el establecimiento de interrelaciones entre los datos, en particular, se relaciona a cada estación donde se miden variables climáticas, con las medidas allí tomadas, se relacionan todas las medidas de una misma variable entre sí, y cada medida se anota con los datos descriptivos que haga falta, para luego buscar esos datos por filtros que establezcan valores en esos atributos descriptivos. La base de datos del repositorio fue implementada y cargada con datos de las fuentes descritas. A largo plazo, se debe mantener el repositorio con datos actuales y siempre se podrán establecer las interrelaciones entre los datos existentes y los nuevos. De esta forma se provee de información muy valiosa a los estudiosos de estos datos y su impacto en el ambiente y los seres humanos.

En la ardua tarea de la carga de datos en el repositorio participaron varias personas. Queremos agradecer de manera significativa la labor del ingeniero Alfredo Garboza y de las bachilleres Francis Alcántara y Patricia Reyes. También debemos agradecer las labores adicionales de la ingeniero Astrid Ribeiro, quien hizo su pasantía larga para el proyecto, pero además de su trabajo de pasantía, fue una ayuda invaluable para la carga de datos, pues descifró los formatos de algunos archivos provenientes de las instituciones recolectoras de datos y los transformó en formatos más simples para la carga.

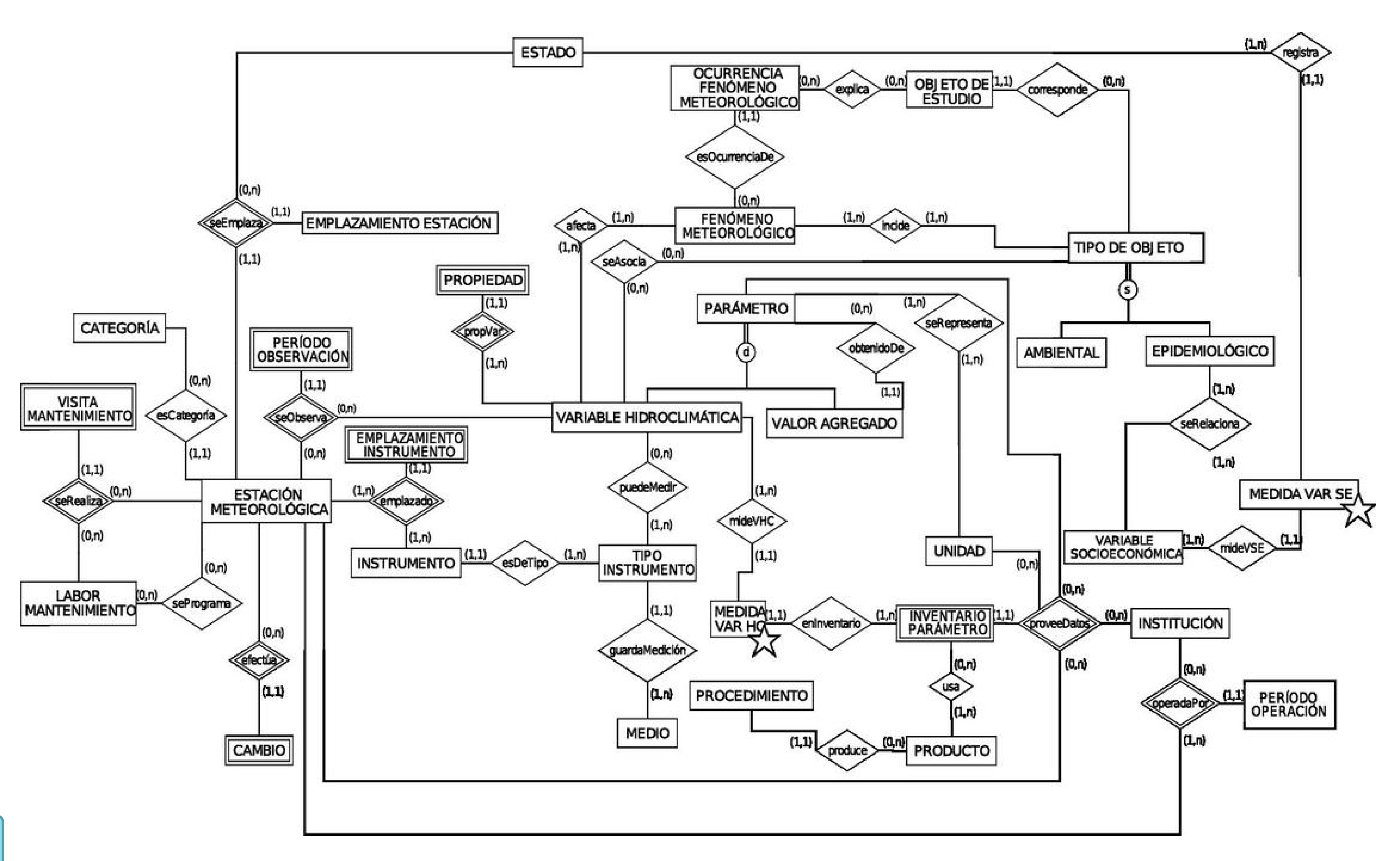
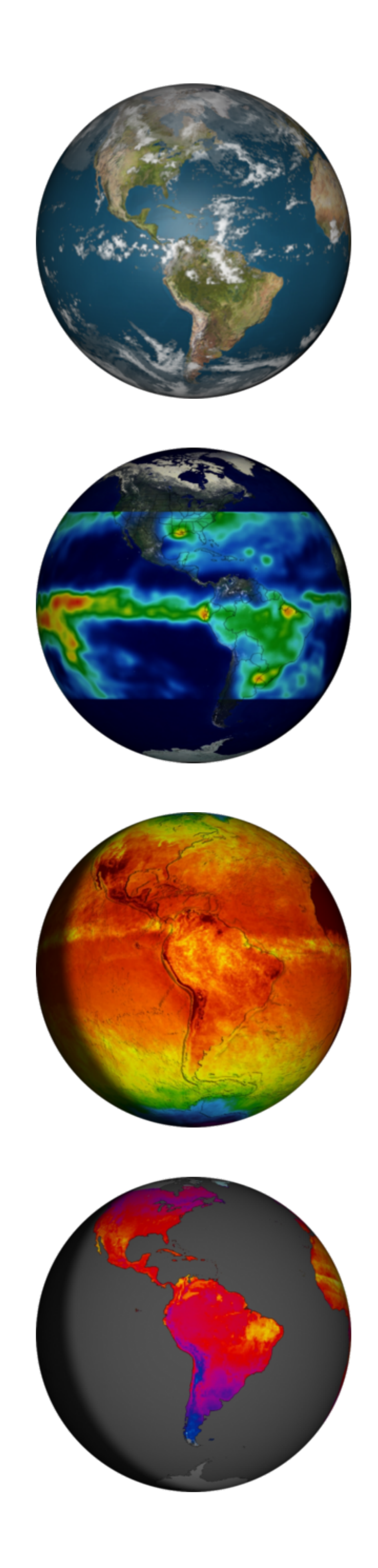


Figura 3.1: Diagrama del Esquema Conceptual del Repositorio



¿Por qué es importante velar por la calidad de los datos hidroclimáticos?



Cuando se habla de la calidad de un producto o de un servicio, cada persona tiene una interpretación subjetiva de su significado, que depende de sus expectativas y experiencias. Ahora bien, el término calidad, en su uso técnico, puede tener dos significados [61]: el primero, en palabras de Joseph Juran, se refiere a la "aptitud para el uso" o a las características de un producto o servicio que impactan en su habilidad para satisfacer necesidades explícitas o implícitas; el segundo, referente a un producto o servicio "libre de deficiencias".

A partir de estas definiciones podemos ver que, para responder el por qué es importante velar por la calidad de los datos hidroclimáticos, hace falta considerar tanto las necesidades que se busca satisfacer al recolectar dichos datos como las características críticas para determinar si están "libres de deficiencias". Comencemos recordando que el diccionario de la Real Academia Española define "dato" como antecedente necesario para llegar al conocimiento exacto de las cosas. En el campo de predicción meteorológica y otras actividades relacionadas con los estudios del ambiente, los estudios y conclusiones se basan fundamentalmente en el análisis de datos observacionales.

En el documento de la OMM número 488 *Guía del sistema mundial de observación* [56], las necesidades de datos se dividen en tres categorías de acuerdo con la escala de aplicación: mundial, regional y nacional, siendo en esta última categoría en la que se encuentran muchos de los usuarios finales cuyas necesidades dependen de objetivos específicos como, por ejemplo, los entes encargados de producción agrícola y alimentaría, que usualmente requieren información sobre la precipitación media, las temperaturas extremas, radiación solar y nubosidad como insumo para la planificación del uso de la tierra; los centros de investigación climática que requieren información de variaciones o anomalías en el clima, reflejados en cambios de temperatura o de precipitación ocurridos en períodos largos de tiempo (décadas); los entes encargados del seguimiento de los recursos hídricos, control de inundaciones, riego o producción hidroeléctrica, que requieren variables como la precipitación, temperatura o humedad del suelo medidas en tiempo real. Los organismos de protección civil, sanidad y comunidades organizadas también se encuentran entre los usuarios de datos hidrometeorológicos, para la determinación de umbrales de peligro ante amenazas hidrometeorológicas o el impacto de los cambios en la prevalencia de enfermedades tropicales (Ver más en [56]).

De la lista anterior de usuarios finales, para nada exhaustiva, se pone en evidencia que una necesidad generalizada es que los datos suministren información confiable para tomar decisiones cuyas consecuencias pueden impactar a individuos y comunidades enteras. Es por esto que los procesos de adquisición, pre-procesamiento, identificación, cálculo de variables derivadas, catálogo y archivo de datos simples y derivados, acceso e entendibilidad de los productos resultantes, deben ser sujetos a estrategias de aseguramiento y control de calidad, entendiendo estas estrategias como vías sistemáticas para llevar a cabo acciones que permiten, por una parte, cuantificar el nivel de calidad en el presente y tomar acciones correctivas (control de calidad) y por otra, aumentar los niveles de calidad al mejorar procedimientos a través de la estandarización de actividades, establecimiento de puntos de chequeo y trazabilidad de actividades, entre otras, como acciones preventivas (aseguramiento de calidad).

Los datos hidroclimáticos simples son el producto de un proceso de medición por instrumentos y como tal, están sujetos a los problemas típicos de cualquier sistema de adquisición de datos. En general se supone que si se pudiera tener una medida perfecta, la cantidad o valor del mensurando caracterizará a la magnitud particular que se quiere medir. Esta cantidad, denotada por la letra griega μ, difiere del resultado de la medición Y por una cantidad que será el error de medición, esto es:

$$Y = \mu + \varepsilon.$$

Ahora bien, no podremos conocer el error, puesto que es imposible determinar el valor de μ, pero si nuestro proceso de medición se realiza varias veces en condiciones similares tendríamos que las sucesivas medidas, a pesar de ser distintas entre sí, deberán ser valores cercanos, siendo la dispersión de estos valores lo que, según el Vocabulario Internacional de Metrología, se conoce como la *incertidumbre* de medición, mientras que la *precisión* se refiere a una medida cuantitativa de la incertidumbre, prefiriéndose los sistemas de medición con mayor precisión. El otro componente del error se corresponde al sesgo, es decir a la diferencia entre el valor estimado del mensurando y el valor ideal, también conocido como *exactitud*.

En el caso de la adquisición de datos hidrometeorológicos hay numerosas fuentes de posibles errores: instrumentos defectuosos, lecturas incorrectas, errores en el pre-procesamiento o en el cálculo de medidas derivadas, errores de transmisión al centro de recopilación, transcripciones erradas, fallas en la identificación de la estación originadora, entre otras. Así, el aseguramiento de calidad se inicia en el lugar de observación (la estación) con el mantenimiento de los equipos y su apropiada calibración, incluyendo la documentación en la bitácora de la estación de los cambios en instrumentación realizados (ajustes y reparaciones, reemplazos, mejoras de tecnología, cambio de emplazamiento, entre otros) y debe continuar en los centros de procesamiento y almacenamiento de los datos, con procedimientos que garanticen la apropiada identificación de los datos recibidos, todo esto con el fin de garantizar la trazabilidad de las posibles fuentes de error.

Dicho lo anterior, es evidente que la responsabilidad del control de calidad de las observaciones y la determinación de su calidad es, primordialmente, del ente que originó los datos (OMM 2007). En el documento *WCP-85* de la OMM, Abbot [3] describe un conjunto de chequeos que pueden ser realizados a los registros en los centros de

datos y cualquier otro documento de la OMM que trata sobre la adquisición y mantenimiento de datos tiene una sección especial dedicada al control de calidad.

El proyecto HIDROX se concibió como una "iniciativa de rescate de datos", con el objetivo de preservar y facilitar el acceso a los archivos de datos históricos climáticos de Venezuela (otras iniciativas pueden verse en [11]). Si pensamos esto como un proceso *(entrada-transformación-salida)*, nuestras entradas corresponden a los metadatos de las estaciones históricas, los archivos de las bandas en papel de datos de las estaciones manuales, digitalizadas y sin digitalizar, y documentos digitales y en papel contentivos de los reportes con diferentes agregaciones temporales (reportes horarios, diarios, mensuales). Estos reportes constituyen nuestra materia prima, que supondremos pasó un control de calidad por parte del organismo generador de los datos y que conforman la base histórica, por lo que nuestro proceso de transformación se limita a establecer indicadores de calidad que identifican características, tanto de los datos como de las series de datos, que pueden ser críticas para las aplicaciones, se señalizan aquellos datos que consideramos tienen problemas de calidad y se mantienen en el repositorio sin realizarles ajustes. De esta manera las salidas son los datos y los metadatos ampliados con los indicadores de calidad básicos, tanto para los datos como para las series de datos.

El módulo de calidad del HIDROX contempla tres sub-procesos o fases:

- Un sub-proceso consiste de un conjunto de servicios que, partiendo de archivos digitales proporcionados por diferentes entes, contentivos de las mediciones registradas por las estaciones, estos sean llevados a un formato estándar que pueda ser usado en las fases posteriores de control de calidad y almacenamiento final en el repositorio. En esta primera etapa se descartan errores gruesos, como caracteres no contentivos de información o duplicación de líneas con exactamente la misma información, posiblemente producto de un proceso manual de copiado y pegado.

- El siguiente sub-proceso contempla aplicaciones para que, con la información ya transcrita y con un formato más amigable, se generen archivos separados por estación y variable medida, que contengan las series de tiempo registradas. En esta etapa se filtra una segunda capa de errores, pues aquí es posible detectar errores como períodos de tiempo repetidos, inconsistencias en la serie de años o meses registrados, o estaciones cuyos seriales no se corresponden a ninguna de las estaciones en el inventario de HIDROX. En el caso de registros en los que se identifica el mismo período de tiempo pero en los que las mediciones o datos de cada registro no son iguales, se genera un reporte donde se muestran las dos o más opciones existentes para dicho período, de manera que el usuario decida cuál de ellas va a utilizar. Igualmente, una vez definido el tipo de variable, se comparan los valores almacenados contra intervalos definidos correspondientes a magnitudes extremas, que, de encontrarse fuera de los valores del intervalo, representan una señal de alarma, como por ejemplo, un registro de precipitación negativo. En cualquier caso de inconsistencias, el dato permanece en el registro; éste no se modifica, sino, como dijimos anteriormente, se genera una señal que queda anotada en los metadatos de la serie y por tanto, en los metadatos de la estación.

- El tercer sub-proceso implementa los servicios que realizan los cálculos de los indicadores de calidad básicos. Actualmente se encuentran implementados servicios que consideran las necesidades de las aplicaciones planteadas en nuestro proyecto, es decir, para *la gestión de riesgos epidemiológicos y ambientales*, que son también básicos para otras aplicaciones en investigación climatológica. En estos estudios hay al menos tres aspectos críticos que debe presentar la serie de datos de una estación en particular para ser usados:

  - Debe tener una *longitud,* correspondiente a varios años de observación, la longitud requerida dependerá de la aplicación.
  - Debe mostrar buena *continuidad* en el tiempo, por lo que registros incompletos con corridas de datos perdidos o inconsistentes no pueden ser usados.
  - Debe poseer la condición de *homogeneidad*, que es la condición en la que los cambios observados en la serie de tiempo se corresponden realmente a cambios en las condiciones climáticas y no a cambios artificiales inducidos por manipulación de la estación y sus instrumentos (cambio de instrumentación, cambio de la localización de los instrumentos dentro de la estación, cambio de la localización de la estación) o por cambios graduales en el entorno físico de la estación producidas por ejemplo, por la urbanización de áreas cercanas al emplazamiento de la estación. Estos cambios deberían estar reportados en los metadatos de la estación, pero la inmensa mayoría de los registros contemplan, además del número de identificación de la estación y su nombre, la localización (latitud, longitud y altitud, frecuentemente en grados y minutos, con la altitud como dato perdido), obviando información sobre el mantenimiento u otros cambios que seguramente ocurrieron durante el período de actividad de la estación. Este problema no es exclusivo de los países menos desarrollados, también está reportado en países con registros de larga data, pues, aunque es factible que existan los archivos de metadatos de una estación o red de estaciones, estos pueden ser de difícil acceso, bien porque se encuentran en viejos archivos de instituciones que no otorgan permiso para visitarlos o bien porque efectivamente han desaparecido como consecuencia de algún evento extremo como un incendio o por la ignorancia de los encargados de estos archivos, de la importancia de estos registros.

    En vista de estas dificultades, se hace necesario implementar pruebas que permitan evaluar la homogeneidad de las series. Alguna de las pruebas serán explicadas más adelante.

Entendiendo estos aspectos críticos, es natural considerar que nuestras anotaciones de calidad para el registro de una variable observada en una estación determinada deben incluir entre los indicadores a la longitud y la completitud de las series, así como un indicador de valoración de la homogeneidad de la misma. A continuación presentamos una lista de algunas anotaciones de calidad:

1. A nivel de las observaciones (datos individuales):

   a) Dato perdido y, en el caso de registros de precipitación, anotación de dato acumulado o englobado.

b) Dato inconsistente por:

- Valor fuera de rango de la variable.
- Valor que, con respecto al promedio de la serie, se encuentra por encima o por debajo de tres desviaciones estándar.

2. A nivel de las series:

   a) Longitud de la serie.

   b) Cantidad de datos perdidos y su porcentaje, en el caso de registros de precipitación, cantidad de datos englobados y su porcentaje.

   c) Longitud de la corrida mayor de datos perdidos (englobados) en un período de tiempo.

   d) Longitud de la corrida mayor de datos perdidos (englobados) en la serie completa.

   e) Máximos, mínimos y valores promedio calculados a partir de datos válidos.

3. A nivel de las estaciones:

   a) Verificación de ubicación geográfica.

   b) Evaluación de los índices de completitud de los metadatos.

   c) Resultados de las pruebas de homogeneidad.

En [66] se pueden obtener detalles técnicos de la implementación de estos indicadores y su incorporación a la estructura del repositorio. Además de estos servicios, también se provee al usuario de servicios de post-procesamiento o *corrección de datos,* que permiten realizar modificaciones como pueden ser declarar valores inconsistentes como valores perdidos, facilidades para completar series que serán usadas posteriormente, cálculo de anomalías, entre otras.

Pruebas de homogeneidad

Como se dijo anteriormente, antes de iniciar un estudio de las tendencias climáticas en una región dada, es necesario asegurarse de que los cambios observados se deban a las peculiaridades meteorológicas y a la dinámica natural del clima, en lugar de a la influencia del hombre, es decir que las series sean homogéneas. Una manera de verificar esta propiedad es observar si los cambios presentados en la serie candidato también son registrados en una estación de referencia cercana (o varias estaciones de referencia cercanas), siendo estas estaciones aquellas que tienen registros que pueden considerarse como *certificado*s. En [59, 32] se pueden encontrar métodos de detección y corrección de inhomogeneidades; aquí nos referiremos a una de las pruebas más conocidas para este tipo de análisis, que es la prueba *SNHT* (*Standard Normal Homogeneity Test*) desarrollada por Alexandersson en 1986 [7] y aplicada por primera vez a datos de precipitación del suroeste de Suecia. Esta prueba considera la serie de cocientes entre los valores de la estación candidata y los correspondientes de la serie o series de una o varias estaciones de referencia. Así, el primer paso en el análisis es escoger un conjunto de estaciones de referencia; en nuestro caso se han seleccionado las estaciones de la Aviación Militar Nacional Bolivariana, las cuales

son consideradas como las estaciones de referencia a nivel nacional, ya que ellas forman parte de la red de estaciones de reporte diario a la Organización Meteorológica Mundial.

Una vez escogidas las series de referencia, se calcula un cociente $q_{i,}1 \leq i \leq n$, con

$$q_i = \frac{S_{0i}}{f(S_{ji})},$$

siendo S_{0i} el valor de la serie candidata para el tiempo i y $f(S_{ji})$ el valor de un estadístico calculado sobre la(s) serie(s) de referencia para el mismo tiempo, consiguiéndose en la literatura variaciones para f tales como el promedio simple:

$$f(S_{ij}) = \frac{1}{J}\sum_{j=1}^{J} S_{ij},$$

o el valor corregido por el coeficiente de correlación entre la estación candidata y las estaciones de referencia ρ_j:

$$f(S_{ij}) = \frac{\sum_{j=1}^{J} S_{ij}\rho_j}{\sum_{j=1}^{J} \rho_j}.$$

Este último criterio sólo es aplicable cuando se tienen al menos dos estaciones de referencia, y además si las correlaciones obtenidas son positivas, pues se considera que $\rho_j = e^{-\lambda L_j}$, siendo L_j la distancia entre la estación candidata y la j-ésima estación de referencia.

Luego se calcula la serie estandarizada de cocientes

$$z_i = \frac{q_i - \bar{q}}{s_q},\ 1 \leq i \leq n,$$

donde $\bar{q}$ y s_q se refieren al promedio y la desviación estándar de los cocientes, respectivamente. En su forma más simple, la prueba de Alexandersson es un contraste de hipótesis que, para cada tiempo v, compara la hipótesis nula que la serie z proviene de una única distribución normal, contra la alternativa que la serie cambia de valor esperado en el tiempo v, siendo T_0 el estadístico que usa este test:

$$T_0 = \max_{0 \leq v \leq n}\ v z_1 + (n - v) z_2,$$

donde $z_1$es la media para la serie entre el tiempo 1 y el tiempo v y z_2 es la media desde el tiempo $v+1$ hasta el tiempo n, que corresponde al final de la serie.

La prueba fue aplicada a las series de precipitación mensual de 894 estaciones en Venezuela, siendo la selección de las estaciones de referencia lo más complicado del análisis, en algunos casos la estación más cercana de la Aviación Militar no correspondía al tipo de clima o con problemas de calidad serios, como períodos registrados muy cortos de tiempo, y estaciones con porcentajes elevados (mayores al 50 %) de datos perdidos. Tras el estudio de cada estado se observó que los mejores conjuntos de series son los de los estados Falcón y Portuguesa, cuyas estaciones registran

al menos 10 años y pasan la prueba de homogeneidad. Para los demás estados se registra cerca de un 10 % de estaciones no homogéneas, llegando a presentarse en algunos casos hasta un 30 % de estaciones no homogéneas.

El problema de selección de las estaciones de referencia podría ser soslayado utilizando métodos iterativos de chequeo como el propuesto en Mitchell y Jones [50].

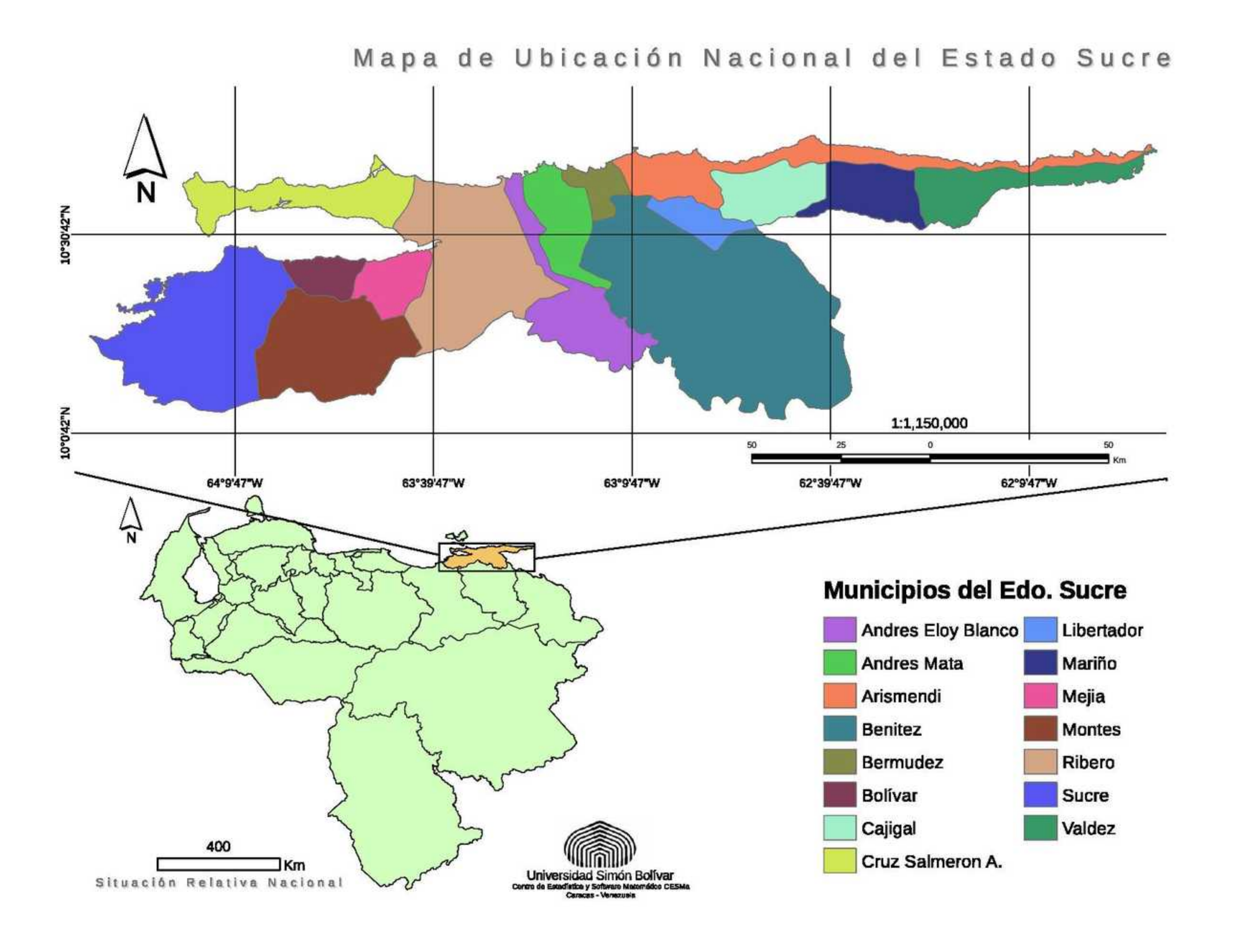
Métodos de completación de datos

En la mayoría de los métodos clásicos para el análisis de series de tiempo, incluyendo el estudio de la homogeneidad de los datos climáticos, uno de los requisitos para que sea posible la estimación de parámetros o la aplicación de contrastes de hipótesis es que no haya datos perdidos. Esta restricción afecta fuertemente la utilidad de los métodos de análisis en el caso de datos climáticos históricos, que frecuentemente presentan este problema. Es por ello que en la literatura existen muchos métodos de completación de datos, desde los más sencillos, como pueden ser sustituir el dato faltante por un promedio de datos en el mismo periodo de tiempo para la misma estación [42], hasta métodos que consideran la completación a partir de una red de estaciones cercanas, de acuerdo con un criterio de distancia que no necesariamente se refiere a la distancia geográfica. Ejemplos de estos últimos métodos pueden verse en [50, 45, 4].

Uno de los aspectos novedosos del RDHC es desde su conceptualización se ha considerado la necesidad de los usuarios de contar con información sobre la calidad de los datos contenida en el repositorio, por esto, consideramos como principal contribución de este proyecto el módulo de aseguramiento de calidad y la implementación de un conjunto de servicios que buscan evaluar algunas de las características que definen la calidad de los datos recolectados, todo con el fin de proveer al usuario final de información que le permita filtrar la mayor cantidad posible de errores que puedan, en etapas futuras de su proceso de decisión, llevar a acciones con resultantes indeseadas en áreas importantes como el análisis de riesgos hidrometeorológicos o epidemiológicos.

En el RDHC se conservan los datos tal y como fueron inventariados y transcritos por los entes productores de datos, pero se brinda acceso a información sobre la calidad a nivel de datos simples, series y estaciones que puede simplificar la escogencia del conjunto de estaciones a ser usadas en posteriores análisis.

Este trabajo no hubiera sido posible sin la dedicación de Ana Cerccioni, en la conceptualización de indicadores de calidad, de Katiuska Alvarado en su trabajo con las pruebas de homogeneidad, de Astrid Rivero en la conceptualización del módulo de calidad del repositorio y de Ivette Guevara, en los métodos de completación de datos.


Mapa de Ubicación Nacional del Estado Sucre
N
10°30'42"N
10°0'42"N
64°9'47"W
63°39'47"W
63°9'47"W
62°39'47"W
62°9'47"W
1:1,150,000
50 25 0 50
Km
Municipios del Edo. Sucre
Andres Eloy Blanco
Andres Mata
Arismendi
Benitez
Bermudez
Bolívar
Cajigal
Cruz Salmeron A.
Libertador
Mariño
Mejia
Montes
Ribero
Sucre
Valdez
400
Km
Situación Relativa Nacional
Universidad Simón Bolívar

¿Cómo se puede acceder a los datos del Repositorio a través de la Web?



Las bases de datos son invisibles a los usuarios, a menos que se construya una interfaz o se dedique un programador que conozca el lenguaje de interrogación de la base de datos y exprese las necesidades de información de cada usuario.

En la Figura 5.1, se muestra la interfaz de inicio de una aplicación que permite, entre otras cosas, el acceso a los datos almacenados en el repositorio de datos hidroclimáticos construido en el proyecto. En este capítulo se describe brevemente la interfaz al repositorio y cómo se construyó.



Figura 5.1: Pantalla de inicio de la aplicación *Argus*.

El complemento necesario para el repositorio de datos hidroclimáticos es una plataforma que provea el acceso al mismo. Para atender esta necesidad se desarrolló una

aplicación Web 2.0. llamada *Argus*, accesible en el url `http://argus.bd.cesma.usb.ve/`.

El término Web 2.0 fue acuñado por Dale Dougherty de O'Reilly Media durante una sesión de *brain storming* con Craig Cline. Una de las actividades que se realizaba en estas sesiones, era comparar aplicaciones Web exitosas con otras que hubiesen desaparecido. Una conclusión de este análisis es que las diferencias entre aplicaciones que perduran y las que desaparecen es algo más que la tecnología; se podía ver que existía una concepción nueva y diferente de las aplicaciones Web.

O'Reilly en el 2005 definió los siete principios de la Web 2.0, a saber: 1) la Web es una plataforma, 2) captura la inteligencia colectiva, 3) los datos son el próximo *Intel inside*, 4) se acaba el ciclo de las versiones del software, 5) modelos de programación ligeros, 6) el software más allá de un solo dispositivo, y 7) experiencias de usuario enriquecidas.

El diseño de la plataforma *Argus* estuvo guiado por estos principios. El primer principio significa que la aplicación estará disponible sin necesidad de que el usuario realice actividades de configuración o instalación; algunos de los usuarios son proveedores de datos, lo cual es una aplicación del segundo principio; se le agregan capas de valor a los datos hidroclimáticos, con la colocación en la plataforma, de productos elaborados en base a los datos crudos y a la agregación de datos, en lo cual aplica el tercer principio; el prototipo de la aplicación se diseñó y construyó con componentes pequeños y reusables, lo cual ilustra el quinto principio; finalmente, se proveen operaciones y la interfaz de una aplicación de escritorio, que corresponde al último principio.

Para el diseño de *Argus* se siguió la metodología *RUP* (Proceso Unificado de Rational, Rational Unified Process en inglés) que comienza con la fase de análisis de requerimientos. Una de las primeras actividades de esta fase fue la definición de los usuarios. Hay dos tipos de usuarios principales, a saber, los *investigadores*, que pueden consultar los datos del repositorio y ejecutar servicios y los *proveedores de datos*, que pueden utilizar casi todas las funciones de la plataforma. El repositorio también puede ser accedido por el público en general, por lo cual hay un usuario general que puede consultar los datos, ver las estaciones de recolección de datos en el mapa, recorrer los enlaces y enviar comentarios. Finalmente, hay usuarios privilegiados que son los administradores, quienes tienen acceso a todas las funciones y pueden ejecutar tareas administrativas de la aplicación.

Los módulos principales del prototipo de *Argus* implementado, se describen brevemente a continuación.

- Consultas al repositorio: se implementó un conjunto de consultas predefinidas, pero de ser necesario, el usuario puede plantear consultas específicas a través del lenguaje de consulta estructurado *SQL*.

- Generación de reportes: hay algunos reportes predefinidos que se pueden solicitar. Algunos de ellos producen sus resultados en el formato *CSV* (datos separados por comas), de modo que el usuario solicitante pueda llevarse los datos resultantes y ejecutar algún procedimiento con ellos.

- Carga del almacén de datos (*Datawarehouse*): los valores de las medidas de las variables climáticas pueden almacenarse en el repositorio, a través de *Argus*.

- Georeferenciación de estaciones: se construyó un servicio web (*mashup*) para ubicar las estaciones en el mapa del país; cada estación es un *punto informado* donde se muestran sus propiedades.

Para la implementación de estos módulos se utilizó una mezcla de tecnologías; el lenguaje de programación fue *Ruby*, el *framework* fue *Ruby on Rails (RoR)*. Se utilizó PostgreSQL como sistema manejador de base de datos (DBMS) para el componente relacional de los datos y el *plug-in de RoR* llamado *ActiveWarehouse* para la implementación del modelo estrella. *Javascript* y *AJAX* fueron relevantes en la construcción de la interfaz y las validaciones. El *mashup* para la georeferenciación se construyó con *Google Earth*.

La implementación del prototipo de *Argus* aquí descrito se llevó a cabo durante el desarrollo de dos proyectos de grado de Ingeniería en Computación de la Universidad Simón Bolívar, los detalles de estos trabajos se pueden encontrar en [36] y [68].

En las Figuras 5.2 y 5.3 se muestran ejemplos de las consultas de datos de precipitación con dos criterios de búsqueda. En la Figura 5.4 se presenta el comienzo de la respuesta a la consulta de la Figura 5.3.

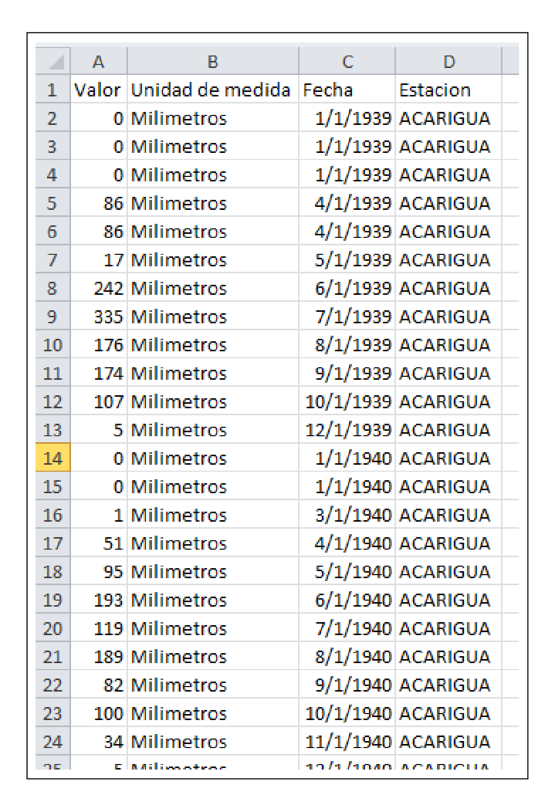


Figura 5.2: Ejemplo de consulta al RDHC de *Argus* para estaciones con datos de precipitación en un rango de alturas.

A modo de ilustración, en las Figuras 5.5 y 5.6 se muestran dos pantallas del servicio de Georeferenciación de *Argus*; en la primera se muestra el mapa del país, del cual se pueden escoger las estaciones a mostrar, por estado o por zona, y se pueden seleccionar los atributos a mostrar de cada estación. En la Figura 5.6 se presentan las



Figura 5.3: Ejemplo de consulta al RDHC asociado a *Argus* para la variable *precipitación* de una estación particular.



	A	B	C	D
1	Valor	Unidad de medida	Fecha	Estacion
2	0	Milimetros	1/1/1939	ACARIGUA
3	0	Milimetros	1/1/1939	ACARIGUA
4	0	Milimetros	1/1/1939	ACARIGUA
5	86	Milimetros	4/1/1939	ACARIGUA
6	86	Milimetros	4/1/1939	ACARIGUA
7	17	Milimetros	5/1/1939	ACARIGUA
8	242	Milimetros	6/1/1939	ACARIGUA
9	335	Milimetros	7/1/1939	ACARIGUA
10	176	Milimetros	8/1/1939	ACARIGUA
11	174	Milimetros	9/1/1939	ACARIGUA
12	107	Milimetros	10/1/1939	ACARIGUA
13	5	Milimetros	12/1/1939	ACARIGUA
14	0	Milimetros	1/1/1940	ACARIGUA
15	0	Milimetros	1/1/1940	ACARIGUA
16	1	Milimetros	3/1/1940	ACARIGUA
17	51	Milimetros	4/1/1940	ACARIGUA
18	95	Milimetros	5/1/1940	ACARIGUA
19	193	Milimetros	6/1/1940	ACARIGUA
20	119	Milimetros	7/1/1940	ACARIGUA
21	189	Milimetros	8/1/1940	ACARIGUA
22	82	Milimetros	9/1/1940	ACARIGUA
23	100	Milimetros	10/1/1940	ACARIGUA
24	34	Milimetros	11/1/1940	ACARIGUA
25	5	Milimetros	12/1/1940	ACARIGUA

Figura 5.4: Ejemplo de respuesta para una consulta de precipitación a la estación Acarigua.

estaciones del estado Delta Amacuro y se destaca una de ellas, donde se muestran sus atributos.

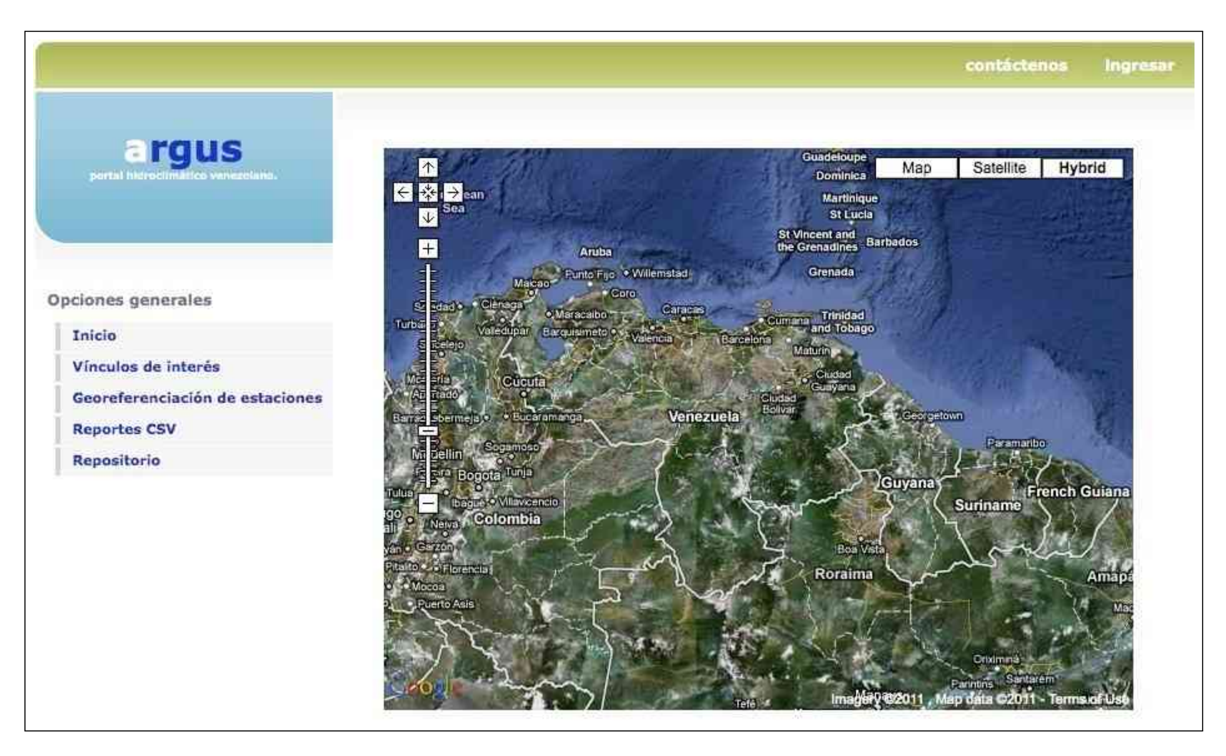


Figura 5.5: Pantalla de inicio del servicio de georeferenciación de Argus.

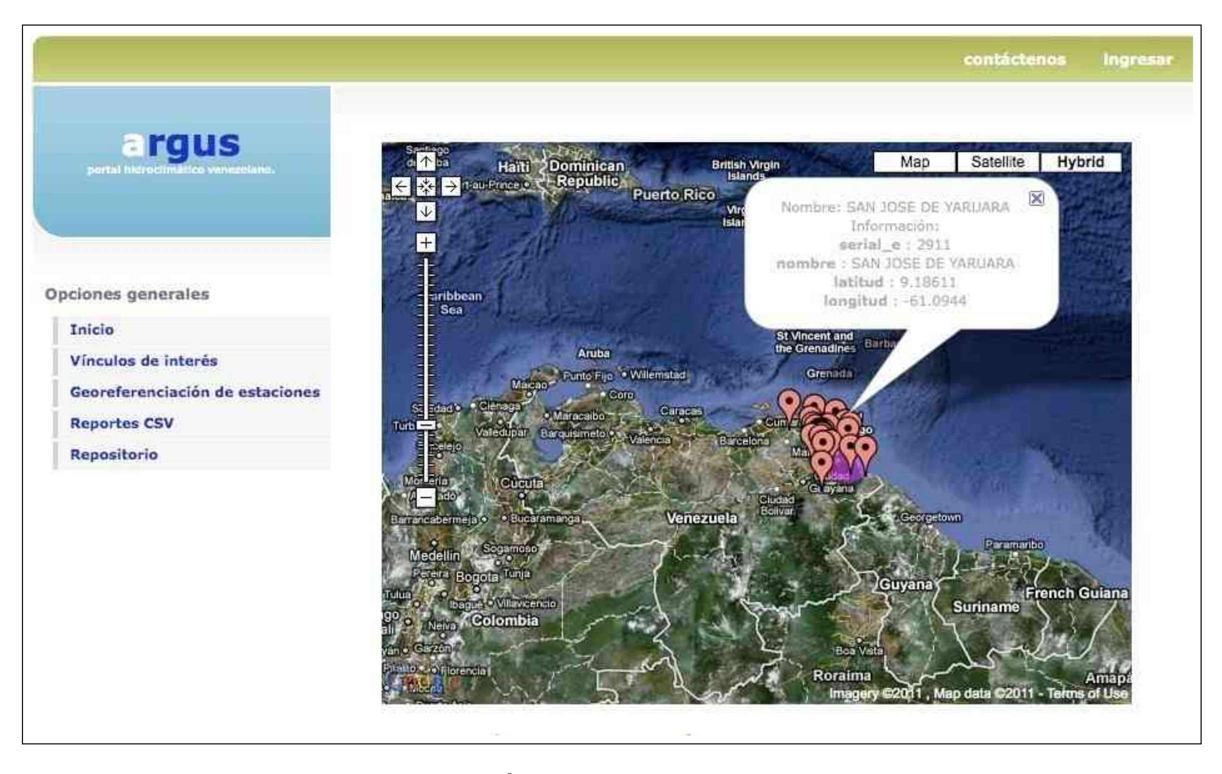


Figura 5.6: Ejemplo de información georeferenciada: estaciones del estado Delta Amacuro (con una destacada).

En la Web existe una gran variedad de sitios donde se ofrecen datos climáticos de diferentes localidades del mundo. En general, en estos sitios se ofrecen conjuntos de datos específicos de una región o de ciertas variables. En algunos se asocian meta-

datos al conjunto de datos. Lo que no hemos visto son sitios donde se estructuren los datos climáticos, de la forma como se ha hecho en el proyecto descrito aquí, es decir, donde las interrelaciones entre los conjuntos de datos se establezcan explícitamente, se pueda interrogar los datos en base a esas interrelaciones y se puedan combinar los datos de acuerdo con las necesidades del usuario.

Hay varios aspectos que le agregan valor a nuestros datos, la estructura que provee el haberlos organizado en una base de datos y la habilidad de combinar datos, servicios y productos en una sola plataforma, a la que llamamos *Argus*, recordando a *Argus Panoples*, gigante de cien ojos de la mitología griega.

Queremos agradecer especialmente a Alfredo Garboza, quien primero como estudiante, en su proyecto de grado de Ingeniería en Computación, concibió junto a su compañero, Gianpaolo Tepedino, el concepto de la aplicación *Argus*, como una aplicación que seguía los principios de la Web 2.0. Luego de graduado, Alfredo le dio mantenimiento a esta aplicación por más de un año; su contribución al proyecto en ese período fue valiosísima y llevó a cabo muchas tareas importantes, de variados niveles de complejidad; tuvo mucha paciencia y atendió los requerimientos de varios investigadores asociados al proyecto, siempre con una sonrisa.

En los dos proyectos de grado para producir la aplicación Argus y en la selección y supervisión de los estudiantes contratados para realizar diversas labores, contamos con el apoyo de la profesora Edna Ruckhaus, a quien también agradecemos.

A lo largo del proyecto, se contrataron varios estudiantes en etapas avanzadas de sus estudios, como administradores de los servidores del proyecto, en estas labores queremos destacar las actuaciones de los ingenieros Moisés Castellanos y Jolimar Rivas, quién aún tiempo después de concluidos sus contratos, atendieron diversas solicitudes y nos ayudaron a *levantar* una vez más los servicios, luego de alguna inesperada falla de luz.

Para concluir esta sección, agradecemos al personal obrero de la Dirección de Servicios Generales de la USB, quienes de manera expedita nos ayudaron a subir el pesado (aproximadamente 300 kilos) UPS del proyecto, por todas las escaleras del edificio MyS, sin ascensor, hasta su ubicación final en el piso 1.

¿Cómo utilizamos el RDHC para entender el comportamiento hidroclimático de Venezuela?



En este capítulo se presenta un grupo de productos como resultado del análisis de los datos hidroclimáticos disponibles en este proyecto. La mayoría de los productos presentados se centran en la variable precipitación. Dentro de los análisis de datos desarrollados se incluye:

1. Un análisis estadístico del comportamiento de la tendencia y la estacionalidad de la precipitación.
2. Un análisis de la influencia del fenómeno ENOS (El Niño-Oscilación del Sur) sobre la precipitación.
3. Un análisis de la variabilidad espacial de la precipitación mensual y anual para el período 1960–1997.

Este último análisis tiene como resultado el desarrollo de los mapas de los totales de precipitación mensual y anual (series de tiempo) para el mencionado período y de los promedios de precipitación mensual y anual (climatologías).

¿Cómo ha sido la tendencia de la precipitación de Venezuela en años recientes?

El análisis de los cambios en la precipitación a distintas escalas espaciales y temporales es un tema de suma importancia para Venezuela y también a nivel global ([16], [38] y [49]). La precipitación es un componente fundamental del sistema climático y en los actuales momentos existe un amplio consenso sobre la necesidad de profundizar el conocimiento de su variabilidad espacial y temporal dentro del contexto del Cambio Climático Global [72].

A nivel nacional, la caracterización de la precipitación juega un papel fundamental en el comportamiento de los sistemas agroecológicos del país, en la dinámica de ciertas enfermedades endémicas como la malaria y el dengue, y en la distribución espacial y la frecuencia de eventos extremos de carácter hidrometeorológico causantes de aludes torrenciales e inundaciones.

Para este análisis se estiman simultáneamente la tendencia y la estacionalidad para un conjunto de 113 estaciones de precipitación de la red meteorológica nacional disponibles en HIDROX. La mayoría de las estaciones consideradas tienen datos de

precipitación mensual hasta el año 1999 y en cuanto a la distribución espacial, muchas de las estaciones se encuentran ubicadas en la parte norte del río Orinoco.

Estaciones seleccionadas y control de calidad de los datos

Para el análisis planteado en esta investigación se utilizaron datos de un total de 113 estaciones climatológicas. Las estaciones climatológicas forman parte de la red de estaciones del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (MARN), la Fuerza Aérea Venezolana (FAV) y CVG-Electrificación del Caroní (CVG-EDELCA). De estas 113 estaciones, 77 se encuentran ubicadas al Norte del Orinoco con 49 años de registro (1950–1998) y 36 estaciones al Sur del Orinoco, de las cuales 18 tienen 30 años de registro (1969–1998); el resto de las estaciones poseen datos entre 1921 y 2002. En la Figura 6.1 se muestra la distribución espacial y los nombres del total de estaciones utilizadas en el análisis. En ella puede observarse que las estaciones no están uniformemente distribuidas, siendo las zonas de los Llanos, Cordillera de Perijá, Sur del Lago de Maracaibo y el Delta del Orinoco las menos representadas. Según la OMM para el reporte de datos mensuales de variables meteorológicas de superficie, cada 250.000 kilómetros cuadrados deben estar representados por al menos una estación meteorológica. Sin embargo, la densidad idónea de la red de estaciones dependerá del tipo de terreno y de la cobertura superficial del área de estudio. Lo ideal es que cada tipo de cobertura (bosques, zonas urbanas, zonas agrícolas, etc.) esté representada por un número adecuado de estaciones [57].

Control de calidad de datos

Para el ajuste de los modelos estadísticos propuestos se utilizan las series de datos mensuales de precipitación. Para algunas de las estaciones se dispone de información a nivel diario y para otras localidades se dispone de información a nivel mensual.

Los datos analizados presentan una gran cantidad de problemas de calidad entre los cuales podemos mencionar:

- Estaciones con datos registrados utilizando distintas tecnologías de medición, como por ejemplo, estaciones automáticas con transmisión satelital (GOES) y sistema digital (SD), y estaciones tradicionales (medición a través de pluviómetros). Este es el caso de muchas de las estaciones de CVG-EDELCA para las cuales hubo un cambio de tecnología de medición y transmisión de la información debido al proceso de modernización de la red de estaciones de la empresa.
- Estaciones con datos faltantes para los cuales no se dispone de registro.
- Estaciones con datos acumulados, en los que existen muchos registros a nivel diario que son la suma de un cierto número de registros precedentes cuyo valor es desconocido.
- Estaciones con datos estimados para los cuales no se conoce el método de estimación.

En el caso de las estaciones de CVG-EDELCA, para las cuales se dispone de más de un tipo de registro en una localidad, se procedió a unificar las series de datos, siempre

y cuando se dispusiera de al menos un año de registro común para ambas tecnologías. También se verificó que la diferencia entre las observaciones para el período de registro común fuese de menos de 15 mm en más del 90 % de los casos. Sólo bajo esta condición se procedió a unificar las series de datos. Para que una estación pueda ser incluida en el análisis debe tener por lo menos 10 años de datos con un máximo de 20 % de datos faltantes.

En el caso de los datos diarios, los datos englobados y los datos estimados (o dudosos) se trataron como datos faltantes. Algunos de estos datos fueron sustituidos utilizando el siguiente criterio: para los meses que tenían a lo sumo cinco datos diarios faltantes, estos fueron completados con el promedio diario de por lo menos 10 años de registro del mismo mes y del mismo día.

En el caso de los datos mensuales, los datos faltantes fueron completados utilizando solo el promedio mensual de los años de registro, el cual es calculado a partir de al menos 10 años de datos históricos.

Antes de iniciar un estudio de las tendencias de la precipitación en una región dada, es necesario asegurarse de que los cambios observados en la media se deban a la dinámica natural del clima. Una serie climática puede dejar de ser homogénea si la estación de medición ha sufrido cambios de instrumentos, cambios de emplazamiento, o cambios de observador o de entorno [71]. Los registros climáticos son especialmente sensibles a estos tipos de cambios por lo que se hace necesario contar con una técnica que nos permita comprobar esta hipótesis. Una manera de verificar esta propiedad es confirmando si los cambios observados en una serie candidato también son registrados en una estación de referencia cercana. La prueba más conocida para este tipo de análisis es la prueba (*SNHT Standard Normal Homogeneity Test*) desarrollada por [6] y aplicada por primera vez a datos de precipitación del suroeste de Suecia. Para las series de precipitación mensual la prueba se aplica sobre los registros anuales de un mes en particular o sobre los registros anuales de las series, los cuales se obtienen al sumar los valores mensuales de cada año. La prueba de Alexandersson ha sido aplicada en Venezuela por [62] para datos de temperatura máxima y mínima. Una descripción detallada de su aplicación en este análisis es presentada en [40].

Mapas de tendencia y estacionalidad para Venezuela

A partir de los análisis gráficos obtenidos anteriormente, las series de precipitación mensual de Venezuela pueden ser representadas matemáticamente por un modelo de la forma:

$$Y_t = T_t + S_t + \varepsilon_t \tag{6.1}$$

donde Y_t representa la observación de la precipitación mensual en el mes t, T_t representa el componente de tendencia, S_t representa el componente estacional y ε_t representa el componente de error en el tiempo t.

Usualmente se supone que ε_t es una secuencia independiente y tiene una distribución normal con media cero y varianza constante σ^2.

El modelo 6.1 supone que el componente T_t tiene la forma:

$$T_t = \alpha + \beta t$$

donde α es el intercepto de la serie y el parámetro β representa la pendiente o tendencia del proceso.

En términos generales se puede observar que en Venezuela existen dos tipos de ciclos, uno unimodal y otro bimodal. Para las estaciones con ciclo unimodal, los niveles pluviométricos más altos ocurren entre los meses de Junio, Julio y Agosto, excepto en la estación Coro-Aeropuerto donde el máximo ocurre durante el mes de noviembre. Para las estaciones con ciclo bimodal, los valores máximos ocurren durante los meses de Abril a Mayo o de Septiembre a Octubre.

El componente $S(t)$ se supone la forma:

$$S_t = \sum_{k=1}^{2} A_k \cos\left(\frac{2\pi k t}{12} + \phi_k\right)$$

que representa un polinomio de Fourier con dos armónicos con períodos 12 y 6, respectivamente, donde A_k es la amplitud y ϕ_k es la fase del k-ésimo armónico. S_t también puede escribirse como un modelo de la forma:

$$S_t = \gamma_1 \cos\left(\frac{2\pi t}{12}\right) + \delta_1 \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi t}{12}\right) + \gamma_2 \cos\left(\frac{4\pi t}{12}\right) + \delta_2 \operatorname{sen}\left(\frac{4\pi t}{12}\right)$$

donde γ_i y δ_i son coeficientes a ser estimados.

Los resultados más importantes tienen que ver con la determinación de la tendencia de la serie y su *significancia*. Dado que hay un número importante de estaciones analizadas y es de sumo interés determinar la variación del comportamiento espacial de la tendencia a nivel nacional, se elaboró un mapa con los valores de tendencia estimados al incluir el componente de tendencia en el modelo. Luego se hizo una interpolación por Kriging, utilizando la librería *spatial* del paquete estadístico *R* [63, 74], y posteriormente se utilizó el programa *ArcGIS* [34] para la producción del mapa resultante. Este mapa se presenta en la Figura 6.1. Allí también se indica para cuáles estaciones el componente de tendencia resultó ser significativo o no.

De este gráfico se desprende que la parte norte costera del país presenta una tendencia negativa en la precipitación al igual que la mayor parte de la zona andina y la parte norte del estado Bolívar y gran parte de los estados Anzoátegui y Monagas. Para la mayoría de las localidades analizadas el componente de tendencia no resulta estadísticamente significativo tal y como se señala en la misma figura.

En la Figura 6.2 se muestra el mapa de los errores estándar resultantes de la interpolación por Kriging en mm/año donde efectivamente se observa que los errores de la interpolación son más altos en las regiones con poca cobertura de estaciones y en las zonas alejadas de los puntos de medición.

El comportamiento unimodal o bimodal de las estaciones analizadas también fue representado espacialmente en la Figura 6.3.

De los resultados obtenidos se concluye que a nivel mensual se detecta un régimen bimodal en 39 de las 113 estaciones analizadas. Estas estaciones están ubicadas

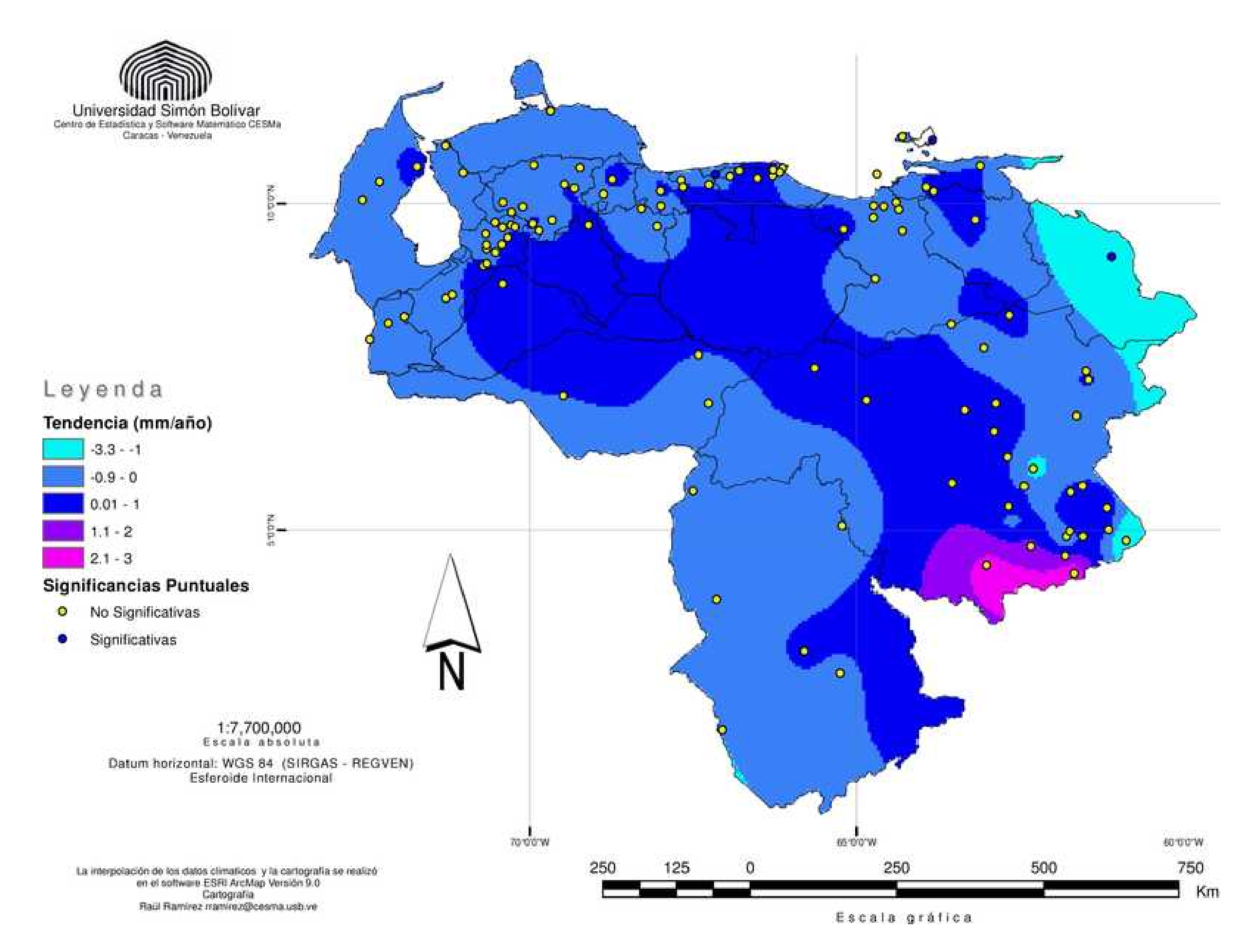


Figura 6.1: Mapa de tendencias de la precipitación en mm por año y significancia del componente de tendencia en el modelo. Los puntos representan las estaciones usadas en la producción del mapa.

mayormente en la región de la cordillera de Los Andes y en el estado Zulia. En el resto de las estaciones (74 en total) el régimen estacional es unimodal.

Los resultados estadísticos que describen la estacionalidad de la precipitación en Venezuela coinciden con las características climáticas de la región. La variabilidad anual de la precipitación en Venezuela está altamente influenciada por las condiciones geográficas dominantes, la presencia de la cordillera de La Costa y su interacción con el Mar Caribe, la migración de la Zona de Convergencia Inter-Tropical y los impactos de los frentes fríos de Norteamérica y del Sur (Brasil y Argentina). Al oeste de los 70° W (región Andina y estado Zulia) la mayoría de las estaciones presentan un régimen bimodal que contrasta con el marcado máximo que se observa en Julio-Agosto en la zona de los Llanos ([60]). Los máximos bimodales que ocurren en los períodos Abril-Mayo y Septiembre-Octubre son altamente afectados por las condiciones orográficas de la región.

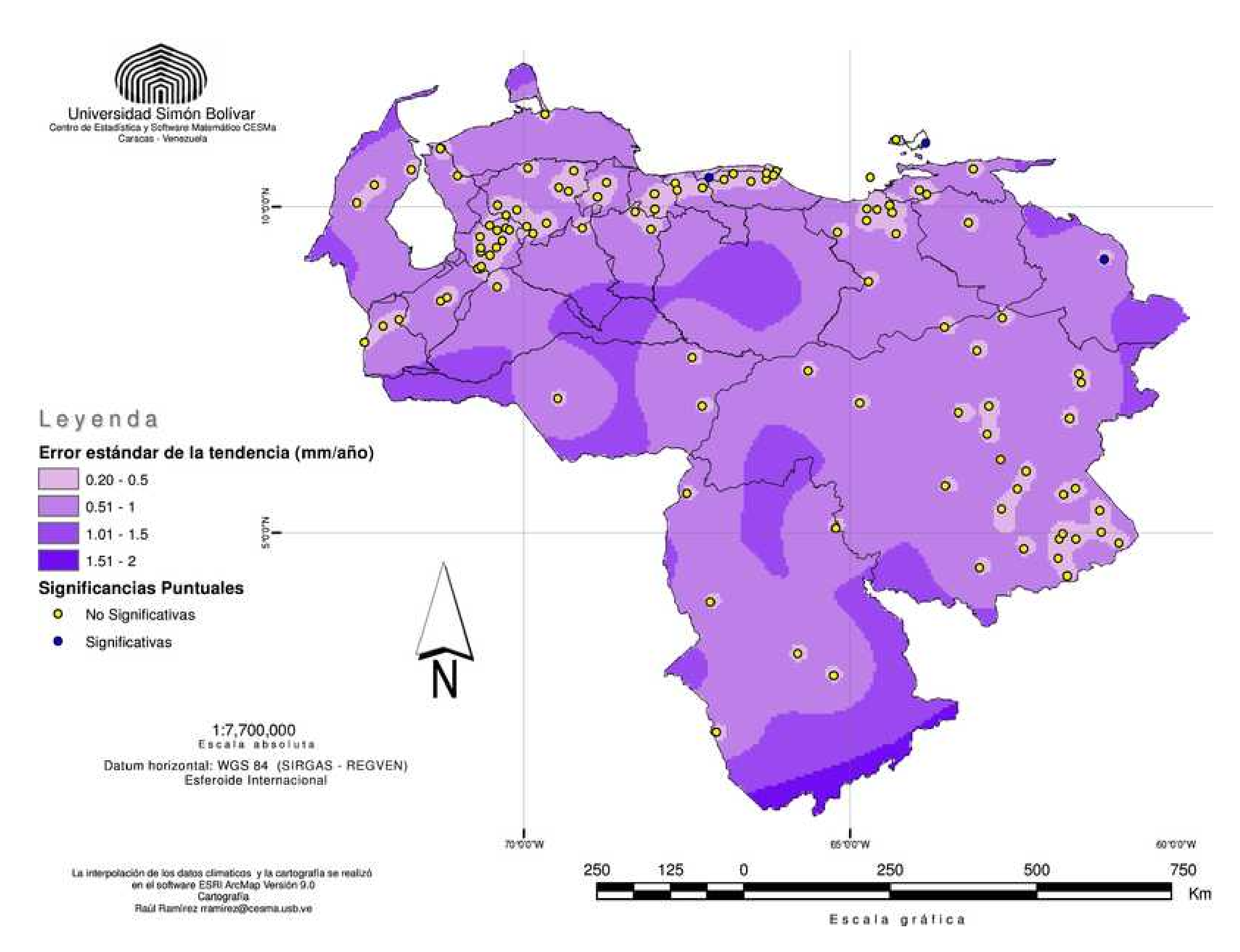


Figura 6.2: Mapa del Error Estándar de las tendencias de la precipitación en mm por año. Los puntos representan las estaciones usadas en la producción del mapa.

¿Cómo influye el fenómeno ENOS sobre la precipitación de Venezuela?

El Niño es un fenómeno climático que ha sido estudiado de manera exhaustiva durante las últimas décadas y es considerado actualmente como uno de los mecanismos más importantes de variabilidad climática estacional y decadal en el mundo y específicamente en la Suramérica tropical. Dicho fenómeno se refiere al calentamiento inusual de la temperatura de la superficie del mar (SST) a lo largo del Pacífico Tropical Central y Oriental. Asociado a esta anomalía, ocurre un hundimiento de la termoclina oceánica al este del Pacífico y un debilitamiento de los vientos alisios. Durante un evento El Niño se da un cambio del centro de convección desde el Pacífico Occidental hacia el Central, además de una oscilación meridional caracterizada por el Índice Meridional de Oscilación (SOI) y que se manifiesta como un “balancín” de la masa atmosférica que produce un gradiente de presión entre el Pacífico ecuatorial occidental y el oriental. Los valores negativos del SOI están asociados con eventos calurosos (El Niño) mientras que los valores positivos están asociados a eventos fríos (La Niña). La Oscilación Meridional del Niño (ENSO) es una oscilación aperiódica con un intervalo de recurrencia entre 2 y 10 años y con un promedio de 4 años de duración. Estos fenómenos que abarcan aproximadamente 2 años se caracterizan por un incremen-

to en las anomalías SST durante la primavera boreal y el otoño del primer año (año 0), el cual alcanza su pico en el invierno del año siguiente (año +1). Posteriormente, las anomalías decaen en la primavera y el verano del año +1 [60]. A pesar de la amplia literatura disponible sobre este tópico, quedan muchísimas interrogantes acerca de estos fenómenos y su influencia a escala global y regional, y particularmente su influencia en Venezuela. Este análisis tiene como finalidad principal ahondar en el estudio del impacto del fenómeno El Niño en Venezuela y medir el grado de influencia de las variables macroclimáticas más importantes (índice ENSO, índice NAO, anomalías SST) sobre la variable precipitación.

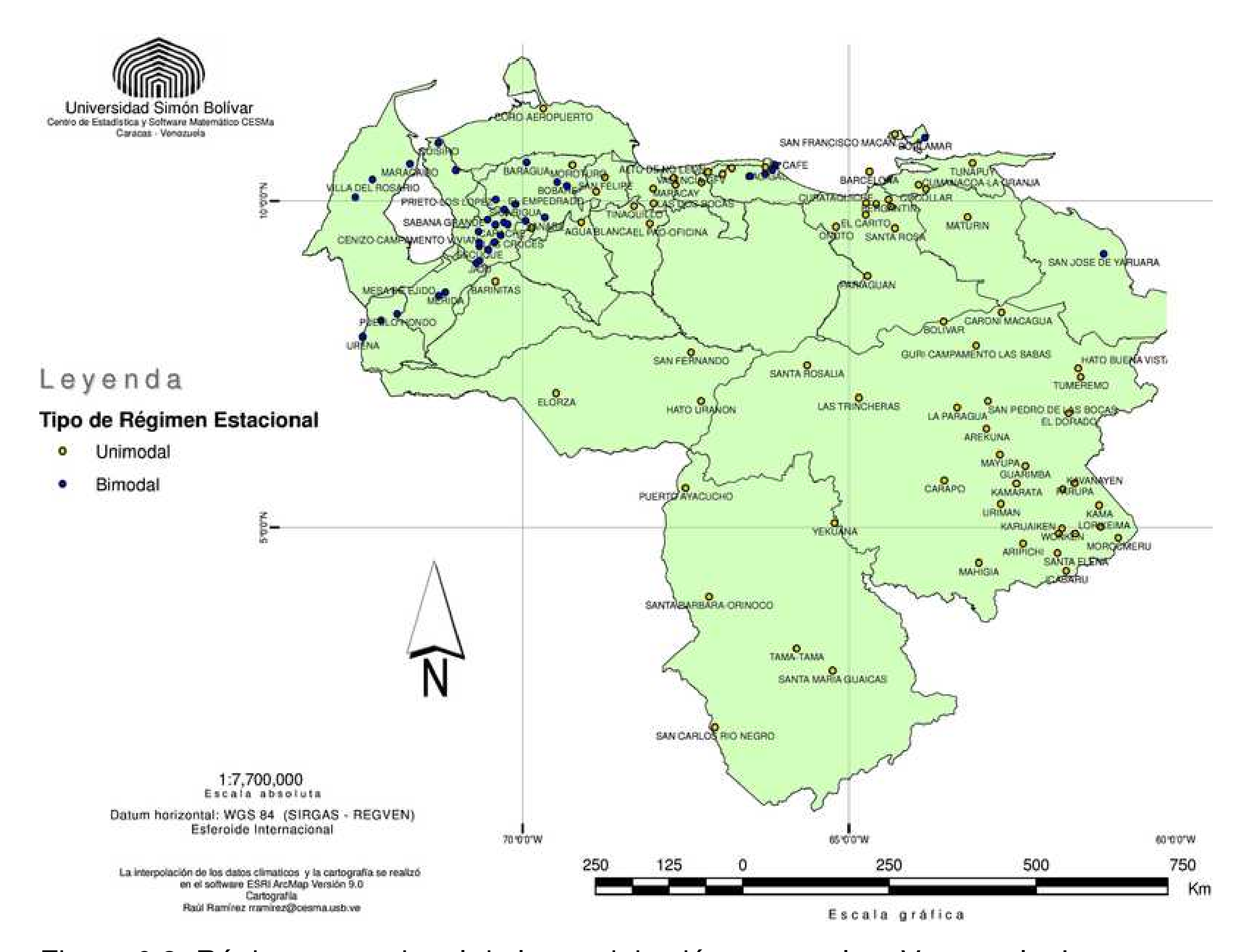


Figura 6.3: Régimen estacional de la precipitación mensual en Venezuela. Los puntos representan las estaciones usadas en la producción del mapa.

Variables utilizadas en el análisis

Para la variable precipitación se escogieron 97 estaciones cuyas series de tiempo era las más completas y abarcaban la mayor parte del territorio nacional, como puede verse en la Figura 6.4. Tanto para esta variable como para los otros índices se tomaron las series de tiempo mensuales entre 1960 y 1997. También es importante resaltar que las estaciones fueron clasificadas en 10 regiones de acuerdo a su ubicación geográfica y su patrón estacional.

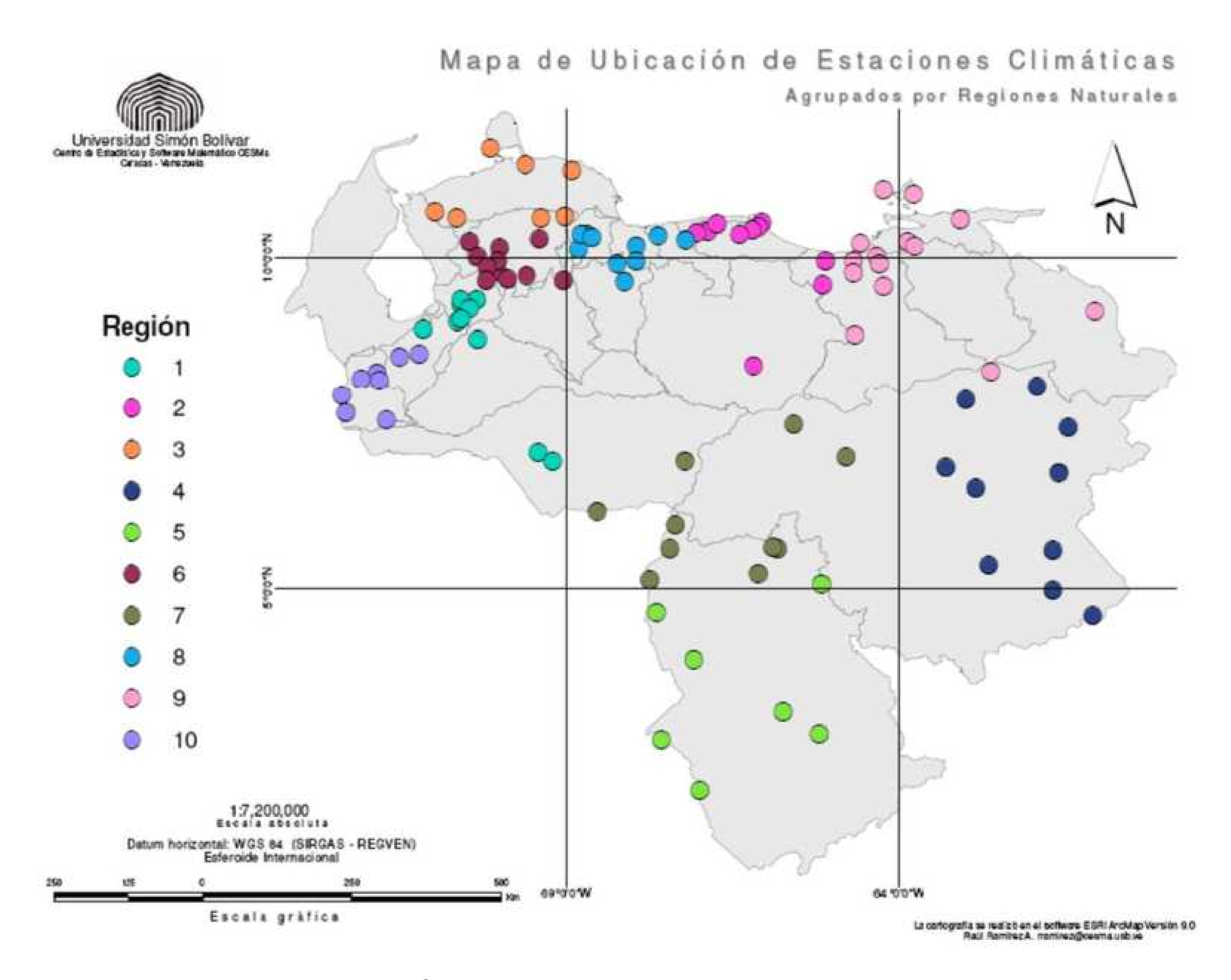


Figura 6.4: Mapa de ubicación de las estaciones utilizadas en el estudio, clasificadas en 10 regiones de acuerdo a su ubicación geográfica y su patrón estacional.

Variables macroclimáticas

- **Índice SOI (Southern Oscillation Index):** Es calculado a través de las fluctuaciones mensuales o estacionales de la diferencia en la presión atmosférica entre Tahiti y Darwin (Australia). Los valores negativos sostenidos de esta variable están asociados a episodios de El Niño, mientras que los valores positivos están ligados a episodios de La Niña.
- **Índice SSTP**: Asociado a las anomalías de la temperatura de la superficie del mar en el Pacífico Central en la región Niño 3.4 (5° N–5° S y 170° W–120° W). Valores altos de estas anomalías están asociadas a eventos El Niño.
- **Índice ENSO bivariado**: Serie de tiempo que combina un componente atmosférico del fenómeno ENSO (SOI) y un componente oceánico (SSTP Niño 3.4).
- **Índice NAO (Northern Atlantic Oscillation)**: Está basado en la diferencia normalizada de la presión a nivel del mar entre Ponta Delgada (Azores) y Stykkisholmur/Reykiavik en Islandia.
- **Índice SSTA**: Asociado a las anomalías de la temperatura de la superficie del mar en el Atlántico Norte (5° N–20° N y 60° W–30° W).

Tratamiento de las variables utilizadas

El primer paso consiste en calcular las anomalías de cada uno de los índices incluyendo las anomalías de precipitación. Esto consiste en restarle a cada dato un promedio sobre un período base y dividirlo entre la desviación estándar mensual.

Una vez creadas las anomalías mensuales se procede a calcular los promedios trimestrales, ya que las influencias de las variables macroclimáticas sobre la precipitación en Venezuela se observan mejor por estaciones en lugar de meses. Esto se logra simplemente promediando los tres meses consecutivos. Los trimestres de interés fueron seleccionados en función de la información que se posee acerca de la influencia de las variables macroclimáticas sobre Suramérica y el Caribe [37], por lo tanto, se tomaron los trimestres: Julio-Agosto-Septiembre (JAS), Octubre-Noviembre-Diciembre (OND), Enero-Febrero-Marzo (EFM) y Abril-Mayo-Junio (AMJ).

Una vez que las variables están anomalizadas y trimestralizadas se procede a categorizar en terciles ([8]) a cada una de ellas; de esta manera se tendrán niveles bajos, medios y altos para cada valor observado. Esto se logra calculando los percentiles para cada observación y luego colocando un valor de 1 (nivel bajo) para aquellos valores cuyo percentil está por debajo de 0,33, un valor de 2 (nivel medio) para aquellos valores cuyo percentil está por encima de 0,33 pero por debajo de 0,66 y un valor de 3 (nivel alto) para los valores cuyo percentil está por encima de 0,66.

Análisis estadístico

Para poder determinar la dependencia entre dos o más variables categóricas se recurre a las tablas de contingencia, que consisten en una tabla de doble entrada, donde en cada casilla figurará el número de casos o individuos que poseen un nivel de uno de los factores o características analizadas (filas de la tabla) y otro nivel del otro factor analizado (columnas de la tabla). Con las variables categorizadas se construyen tablas de contingencia 3×3 que se utilizan para determinar el grado de dependencia de la precipitación con los índices macroclimáticos para cada estación para cada trimestre, por lo que se generaron 1940 tablas de contingencia (97 estaciones, 5 índices macroclimáticos, 4 trimestres).

Para cada tabla de contingencia se realiza una prueba de hipótesis utilizando el estadístico chi-cuadrado (χ^2), para determinar si existe dependencia entre las dos variables que conforman la tabla. En este caso la hipótesis nula plantea independencia entre las variables y la hipótesis alternativa niega la anterior. El estadístico de prueba es:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{3} \sum_{j=1}^{3} \frac{(f_{ij} - e_{ij})^2}{e_{ij}^2}$$

el cual es una medida de discrepancia entre las frecuencias observadas f_{ij} y las esperadas e_{ij} para cada celda (i, j) de la tabla.

Mapas de dependencia por trimestre

Una vez obtenidos los niveles de *significancia* de la prueba estadística a través del p-valor para cada tabla de contingencia, se procede a generar los mapas de dependencia interpolando los p-valores obtenidos. El método de interpolación utilizado fue el Kriging universal el cuál fue aplicado a los p-valores transformados mediante la transformación $\log(\frac{p}{1-p})$. Esta transformación es necesaria para que los valores de p se mantengan en el intervalo [0,1]. Finalmente, aquellas zonas que tuvieran p-valores menores a 0,05 se consideran altamente dependientes; aquellas con p-valores entre 0,05 y 0,10 son consideradas dependientes y el resto de las zonas se suponen independientes.

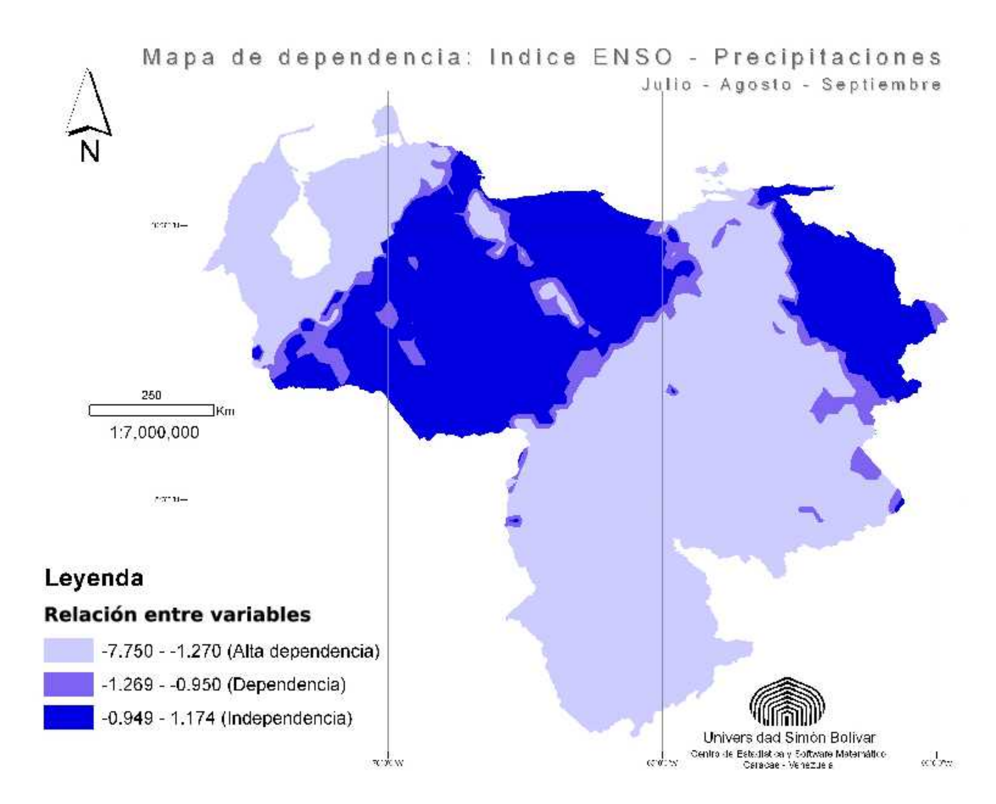


Figura 6.5: Mapa de Dependencia Índice ENSO-Precipitación Trimestre Julio-Agosto-Septiembre.

A continuación, se incluyen los mapas de dependencia por cada trimestre para las variables que resultaron ser las más ampliamente dependientes con la precipitación. También se señalan en cada caso las variables que no presentan dependencia significativa.

Trimestre Julio-Agosto-Septiembre

Para el trimestre julio-agosto-septiembre las variables que realmente están relacionadas con la precipitación son el SOI y el SSTP, y por consiguiente el índice ENSO bivariado debido a que éste depende de los anteriores. Sin embargo, esta dependencia no es constante a lo largo del territorio nacional. En la Figura 6.5, la fuerte dependencia se observa básicamente en todo el territorio a excepción de los Llanos,

la región de Barlovento y el Delta del Orinoco. También se obtiene como resultado la independencia total de la precipitación de las variables NAO y SSTA durante este período.

Trimestre Octubre-Noviembre-Diciembre

En el trimestre Octubre-Noviembre-Diciembre siguen siendo el SOI, el SSTP y el ENSO las variables de las cuales depende mayormente la precipitación, aunque el grado de dependencia es menor. No obstante, la región de dependencia abarca únicamente la parte sur del estado Bolívar y el este del estado Amazonas (ver Figura 6.6).

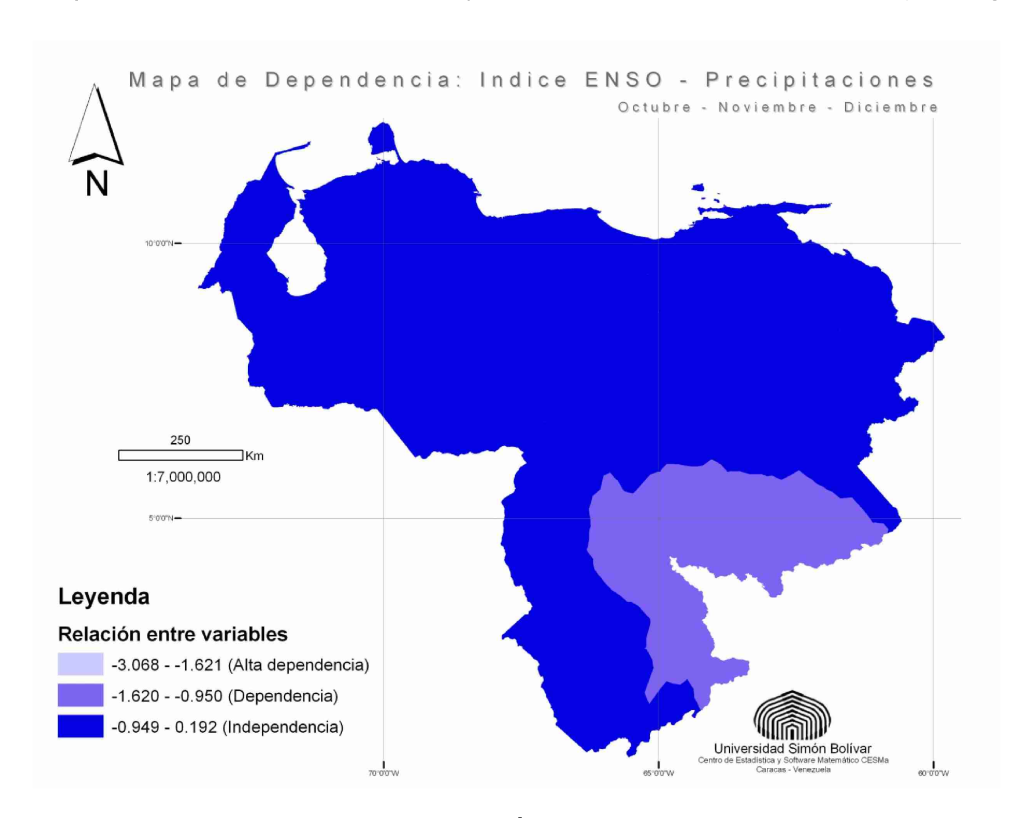


Figura 6.6: Mapa de Dependencia Índice ENSO-Precipitación Trimestre Octubre-Noviembre-Diciembre.

Trimestre Enero-Febrero-Marzo

En el trimestre Enero-Febrero-Marzo siguen siendo las variables SOI (Figura 6.7), SSTP y ENSO las de mayor dependencia. Nuevamente las variables NAO y SSTA no parecieran tener relación alguna con la precipitación y nuevamente la región de dependencia cambia. En esta ocasión la influencia se observa en el sur de Amazonas, el Zulia, y toda la región del Delta y el este de Sucre y Bolívar.

Trimestre Abril-Mayo-Junio

Finalmente, los mayores cambios se observan en el trimestre Abril-Mayo-Junio, en el cual la influencia del SOI, SSTP y ENSO desaparece totalmente, y por otro lado

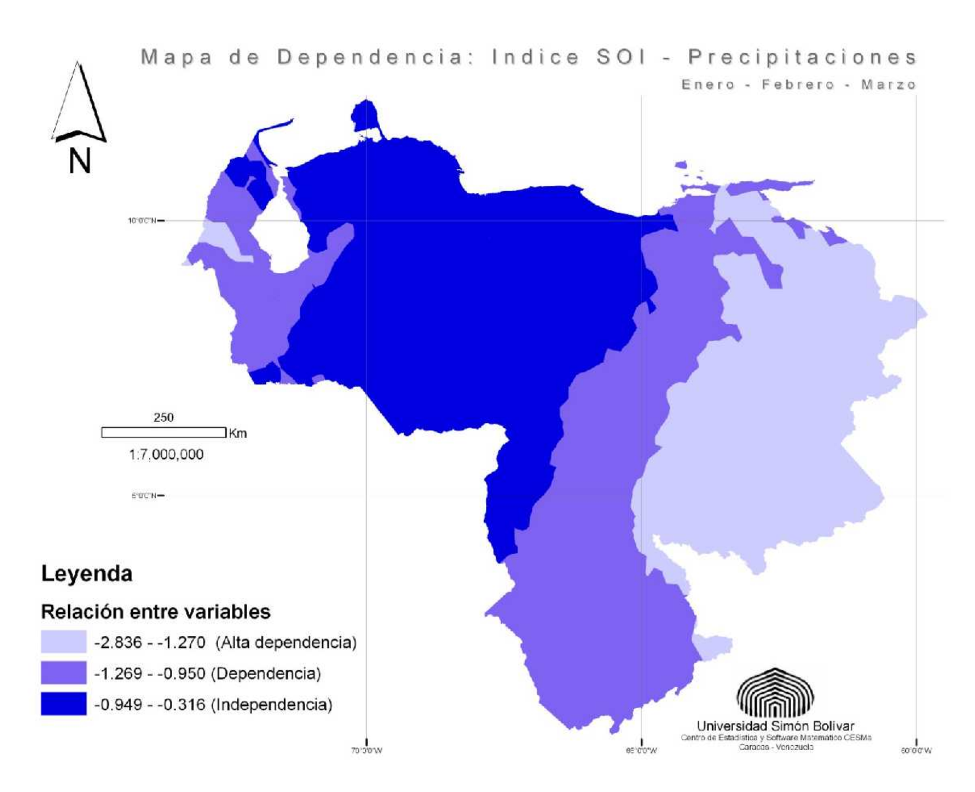


Figura 6.7: Mapa de Dependencia Índice SOI-Precipitación Trimestre Enero-Febrero-Marzo.

aparece una dependencia muy clara de la variable SSTA (Figura 6.8) y se observa en toda la región Central, Llanos Centrales y toda la línea costera, mientras que la variable NAO tampoco parece tener dependencia con la precipitación en este trimestre.

Resumen de los resultados más relevantes

La precipitación en Venezuela parece estar influenciada en los trimestres Julio-Agosto-Septiembre y Enero-Febrero-Marzo por el calentamiento inusual de las aguas del Pacífico Central Ecuatorial reflejados en las regiones de dependencia asociadas a los índices que describen este fenómeno, es decir, los índices SOI, SSTP y ENSO. Estos resultados coinciden con estudios previos realizados sobre este tema incluyendo los trabajos de [37] y [60]. Asimismo, la dependencia en el trimestre Abril-Mayo-Junio viene reflejada únicamente por el índice SSTA lo cual es consistente con el trabajo de [37] en el cual se explica que las altas precipitaciones durante este trimestre vienen asociadas al calentamiento inusual de las aguas del Atlántico norte que es consecuencia directa del fenómeno El Niño.

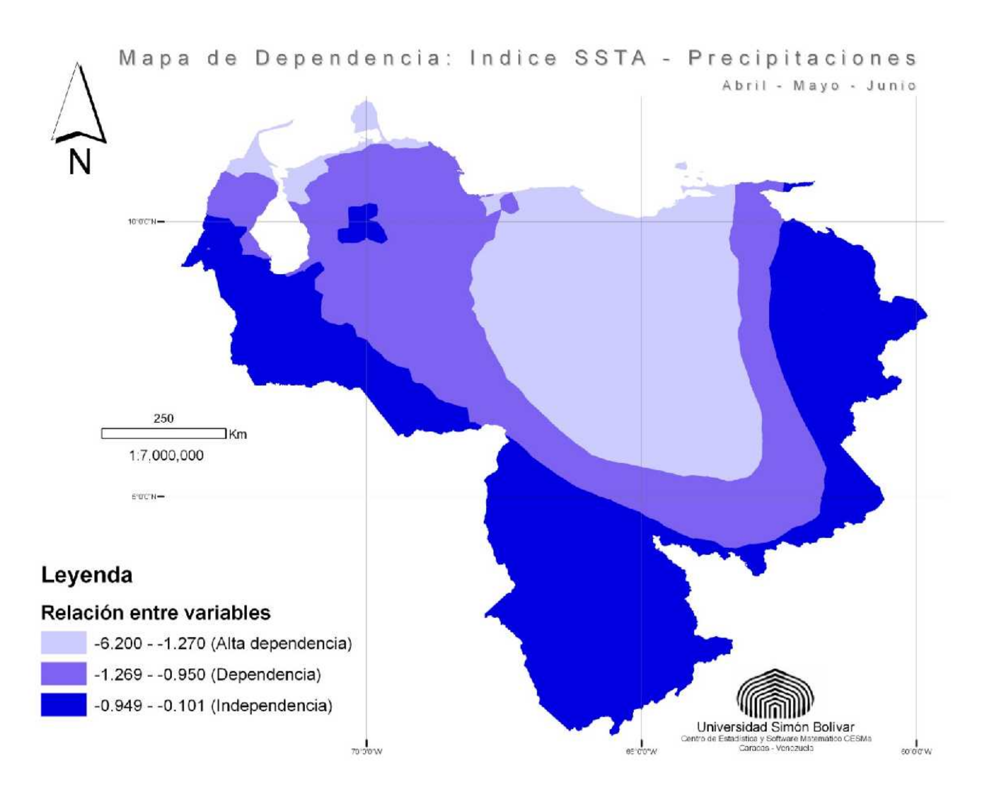


Figura 6.8: Mapa de Dependencia Índice SSTA-Precipitación Trimestre Abril-Mayo-Junio.

¿Cómo se ha distribuido espacialmente la precipitación de Venezuela en años recientes?

En esta sección se describe cómo se ha utilizado la base de datos almacenada en el repositorio de datos hidroclimáticos para construir grillas rectangulares de precipitación mensual y anual para Venezuela durante el período 1960–1997. Estas grillas rectangulares son obtenidas a partir de la interpolación espacial de los datos de 812 estaciones meteorológicas que registran precipitación en Venezuela (ver Figura 6.9). El producto final de este análisis es un conjunto de mapas que describen el comportamiento espacial de la precipitación a nivel mensual y anual en forma continua, incluyendo las localidades para las cuáles no se tienen observaciones (que son la mayoría). El producto es una serie temporal de mapas de totales mensuales y anuales, incluyendo además los promedios mensuales y anuales comúnmente llamados *climatologías*.

El método de interpolación empleado fue el de *splines Laplacianos con suavizamiento*, propuesto por [76] e implementado por [44]. Esta metodología ha sido extensamente utilizada con datos climáticos a nivel global [52, 51] y en otras aplicaciones a nivel local y regional [41, 27], ya que permite la interpolación espacial de variables climáticas, tomando en cuenta el relieve de la región de estudio, la dispersión de las estaciones de medición y el número de registros disponibles, especialmente en áreas con pocas y dispersas estaciones de registro.

El modelo propuesto para los datos de precipitación supone que cada observación

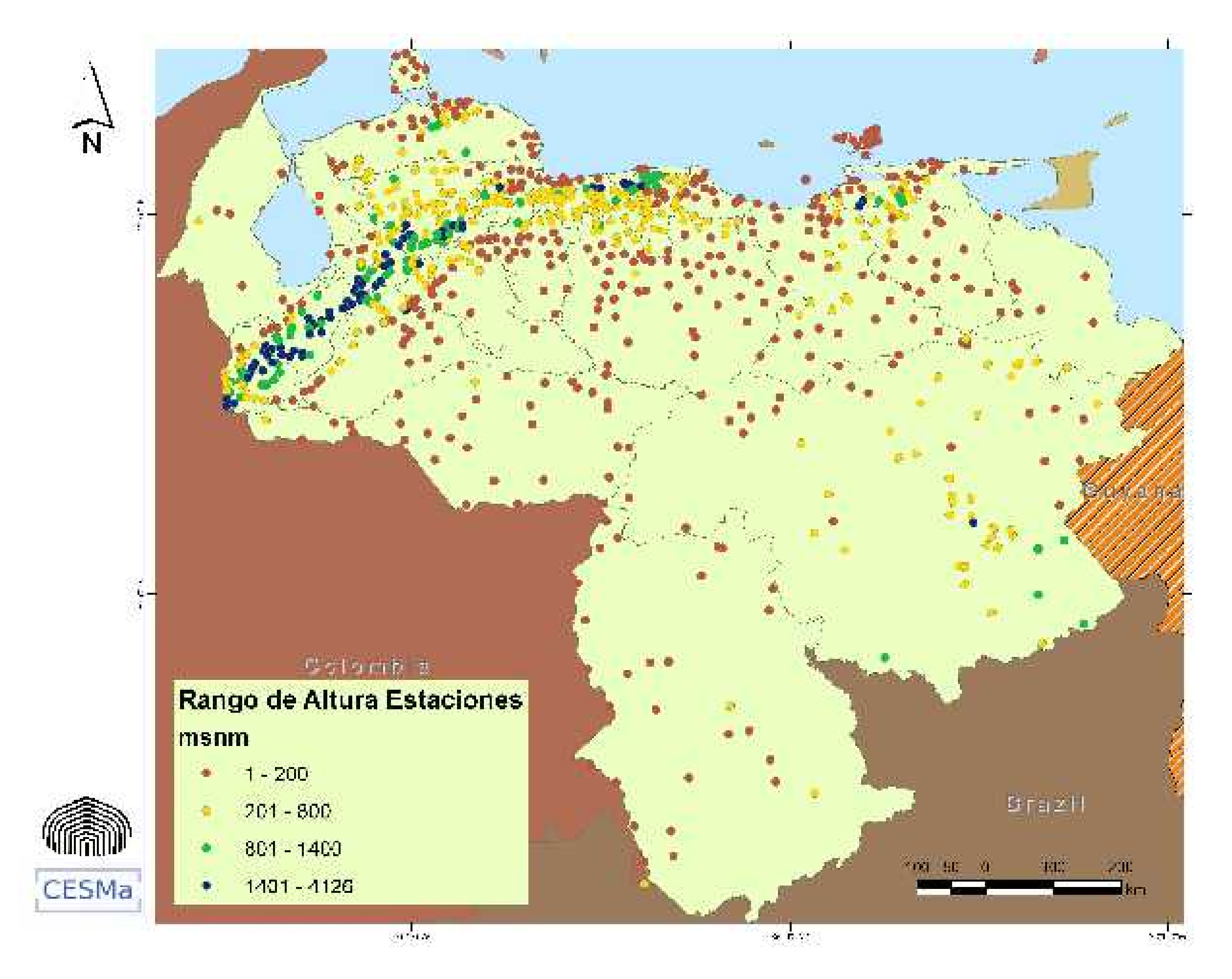


Figura 6.9: Ubicación de las estaciones utilizadas para construir las series de mapas mensuales y anuales de precipitación para Venezuela.

en una localidad i (z_i) puede representarse de la siguiente forma:

$$z_i = f(x_i, y_i, h_i) + \varepsilon_i$$

donde $f(x_i, y_i, h_i)$ es una función suave que depende de las coordenadas de localización, donde x_i es normalmente la longitud, y_i es la latitud y h_i es la altura. Por otro lado ε_i es el error que mide la diferencia entre el valor observado y la superficie ajustada. Una variante de este modelo es el modelo de *splines Laplacianos parciales con suavizamiento* en donde la precipitación en la localidad i, puede ser expresada como:

$$z_i = f(x_i, y_i) + \beta\, h_i + \varepsilon_i$$

donde la dependencia de la variable de respuesta (en este caso la precipitación) depende linealmente de la altura h_i a través de un parámetro β que debe ser estimado.

Los coeficientes que definen la función f se estiman minimizando la cantidad:

$$\sum_{i=1}^{N} (z_i - f(x_i, y_i))^2 + \lambda\, J_m(f)$$

donde J_m mide qué tan suave es la función f en términos de sus derivadas parciales de orden m y λ es un parámetro de que mide el grado de compromiso entre un

perfecto ajuste de la función estimada a los datos observados ($\lambda = 0$) o una función extremadamente suave (λ tiende a infinito). Este parámetro es estimado minimizando una medida del error predictivo de la superficie ajustada denominada validación cruzada generalizada.

En este trabajo, se utilizó el software ANUSPLIN versión 4.36 [44] para realizar la interpolación por splines con suavizamiento. Dicho software considera la posibilidad de aplicar el método de interpolación en forma bi-dimensional o tri-dimensional, calculando todos los estadísticos de error de la interpolación incluyendo la *validación cruzada generalizada*, el estimador de la *varianza del error*, los grados de libertad de *la señal* y del *ruido* y el *coeficiente de suavizamiento*. En general la latitud y la longitud se fijan como variables independientes (caso bi-dimensional), pero también puede añadirse la elevación (caso tri-dimensional). La inclusión de la elevación como variable independiente agrega una habilidad al proceso de interpolación, permitiendo controles topográficos sobre el clima [52]. En cada ejecución, ANUSPLIN genera una lista de las estaciones con los residuales más grandes respecto a la superficie ajustada. Esta lista fue utilizada para identificar estaciones potencialmente erróneas, corregirlas y en caso de no ser posible, excluirlas del proceso de interpolación.

En este trabajo se utilizaron dos módulos de ANUSPLIN: SPLINA y LAPGRD. El primero nos permite estimar los coeficientes del modelo de Splines Laplaciano ajustado a los datos y el segundo nos permite evaluar la superficie ajustada en una grilla rectangular conformada por un Modelo Digital de Terreno (MDT) para toda Venezuela con una resolución de 0,046 grados (Figura 6.10).

Series temporales y climatologías

Los datos de las 812 estaciones de precipitación fueron procesados y organizados según los requerimientos de entrada de ANUSPLIN. Los dos grandes productos de esta fase del trabajo fueron los siguientes:

- Series temporales de los totales de precipitación mensual (12×37 mapas) y anual (37 mapas) para los años 1960–1997.

- Promedios mensuales (12 mapas) y promedio anual (1 mapa) (climatologías mensuales y anuales) para los años 1960–1997.

Otro producto importante son los mapas del error estándar estimado para cada uno de los mapas producidos, por lo que se obtiene el doble de los mapas descritos anteriormente.

A manera de ejemplo, en la Figura 6.11 se presenta el mapa de precipitación total anual para el año 1991 con su error estándar asociado como un mapa inserto dentro de la misma figura y en las Figuras 6.12 y 6.13 se presentan los mapas correspondientes a las climatologías mensuales y el error estándar de los valores estimados para cada mes.

A partir de la Figura 6.11 se observa claramente la distribución espacial de la precipitación a nivel nacional con las zonas más lluviosas ubicadas al sur de Venezuela y en

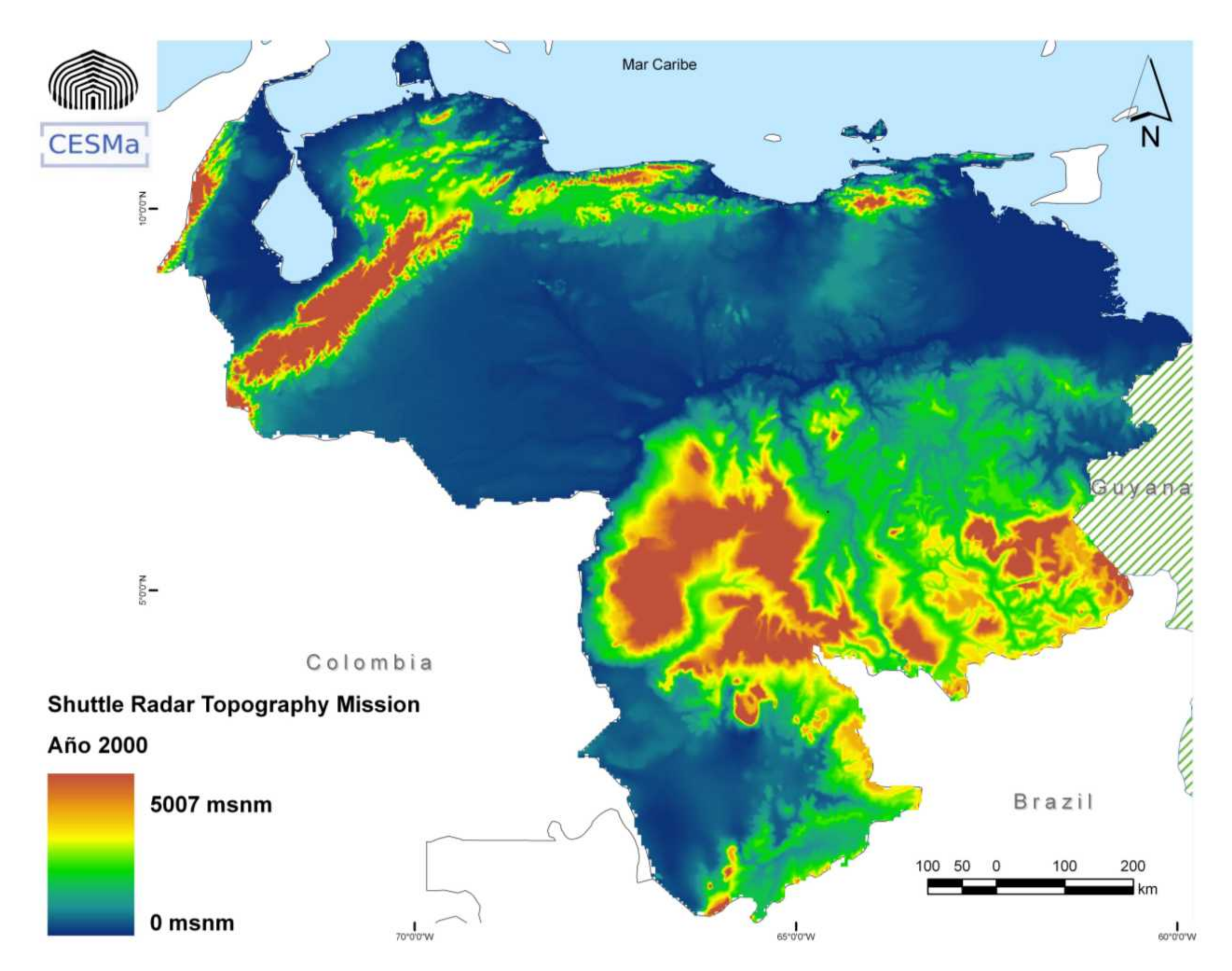


Figura 6.10: Modelo Digital de Terreno (MDT) utilizado para evaluar las superficies de precipitación.

la frontera con Colombia en el estado Zulia. En la Figura 6.12 se observa claramente el comportamiento estacional de la precipitación siendo los meses más lluviosos los meses de Junio, Julio y Agosto. Además se observa cómo la estación lluviosa va iniciando su establecimiento desde el sur del país lo cual coincide con la influencia y el movimiento de la Zona de Convergencia Intertropical. En el caso de los errores estándar (Figura 6.13), es claro que éstos aumentan con el valor de la precipitación y son mayores en zonas con poca información, especialmente en la zonas fronterizas tales como el sur del estado Amazonas en su frontera con Brasil, este del estado Delta Amacuro y oeste del estado Zulia en su frontera con Colombia.

En este Capítulo se abordan tres preguntas sobre sobre la variable precipitación en Venezuela

¿Cómo ha sido la tendencia de la precipitación de Venezuela en años recientes?

¿Cómo influye el fenómeno ENOS sobre la precipitación de Venezuela?

¿Cómo se ha distribuido espacialmente la precipitación de Venezuela en años recientes?

Para responder a cada una de estas preguntas se conformaron varios equipos de trabajo. Para la primera pregunta quisiera agradecer especialmente a los estudiantes de la licenciatura en

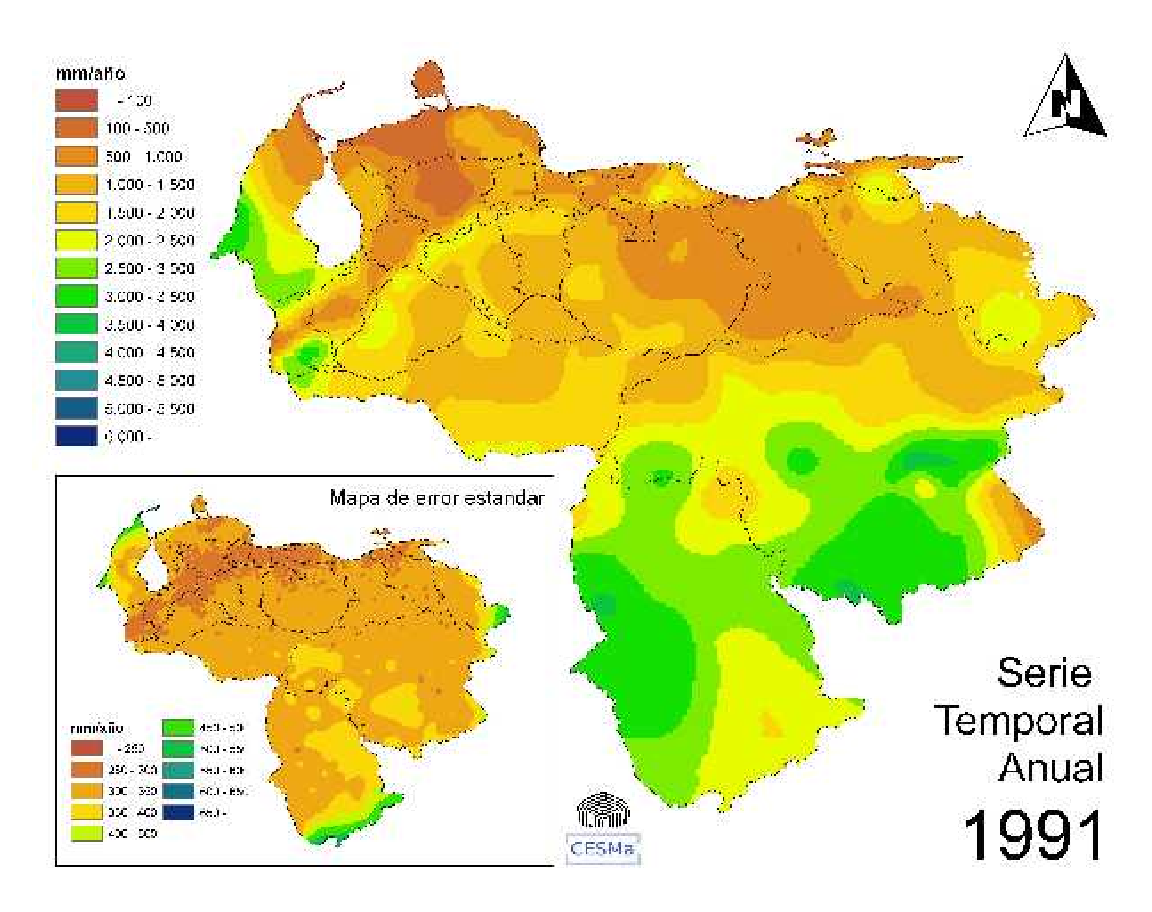


Figura 6.11: Precipitación total anual para el año 1991.

Matemáticas, opción Matemáticas Aplicadas y Computacionales, Edgard Degryze y Katiuska Alvarado quienes codificaron la mayor parte de los algoritmos que se utilizaron para hacer los cálculos correspondientes a esa sección.

Para responder a la segunda pregunta agradecemos especialmente a los estudiantes de postgrado de la Maestría en Estadística Licenciado Jhan Rodríguez por su invalorable ayuda en la implementación del algoritmo EM para la generación de datos faltantes, e Ingeniero Pedro Sequera, quien se concentró en el tópico de esta sección para el desarrollo de su tesis de Maestría en Estadística, graduándose con Mención de Honor.

Para responder a la tercera pregunta deseo agradecer el minucioso trabajo de la estudiante de Maestría del Postgrado de Modelos Aleatorios de la UCV Licenciada Yessica Fermín, por apoyarnos en la automatización de la preparación de todos los archivos de entrada para la ejecución del software ANUSPLIN; al Dr. Mike Hutchinson de la Universidad Nacional de Australia y autor del Software ANUSPLIN, por gentilmente enviarnos la versión 4.3.1 con la cual desarrollamos todos los mapas de precipitación para Venezuela, y guiarnos en la interpretación de las salidas y los resultados. También agradecemos ampliamente al licenciado Jesús Yerena estudiante de la Maestría de Estadística de la USB, quien preparó todas las salidas de ANUSPLIN para la producción de los mapas de precipitación de Venezuela en sus dos modalidades: Series de Tiempo y Climatologías.

En todo el proceso de análisis de datos contamos con el apoyo incondicional de la licenciada Desireé Villalta, quien nos ha acompañado durante todo el proyecto; y al Ingeniero Raúl Ramírez quién ha trabajado intensamente en la producción de los mejores mapas que tenemos sobre la precipitación en Venezuela y de muchas otras variables que hemos utilizado a lo largo de este trabajo.

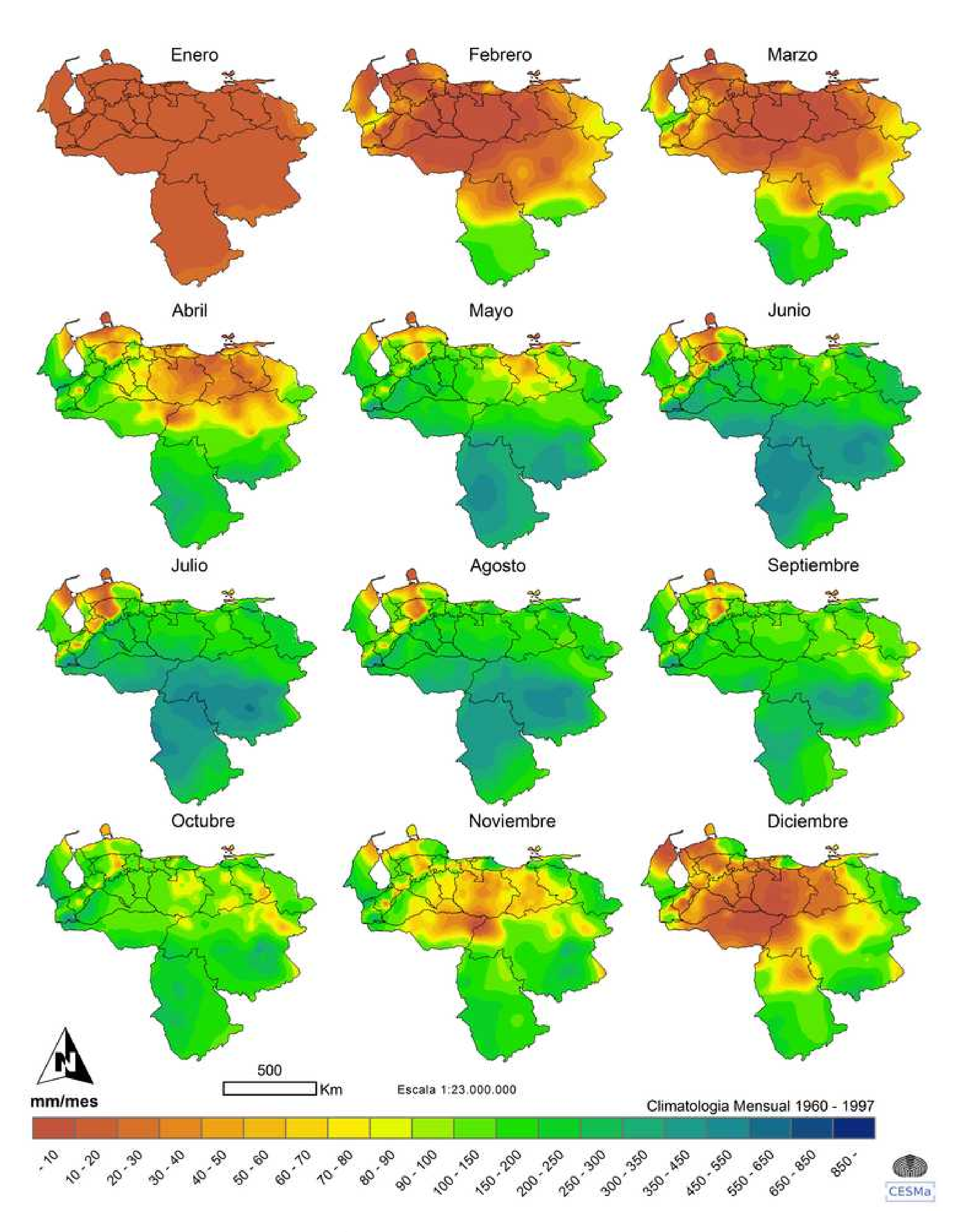


Figura 6.12: Precipitación mensual promedio para el período 1960–1997.

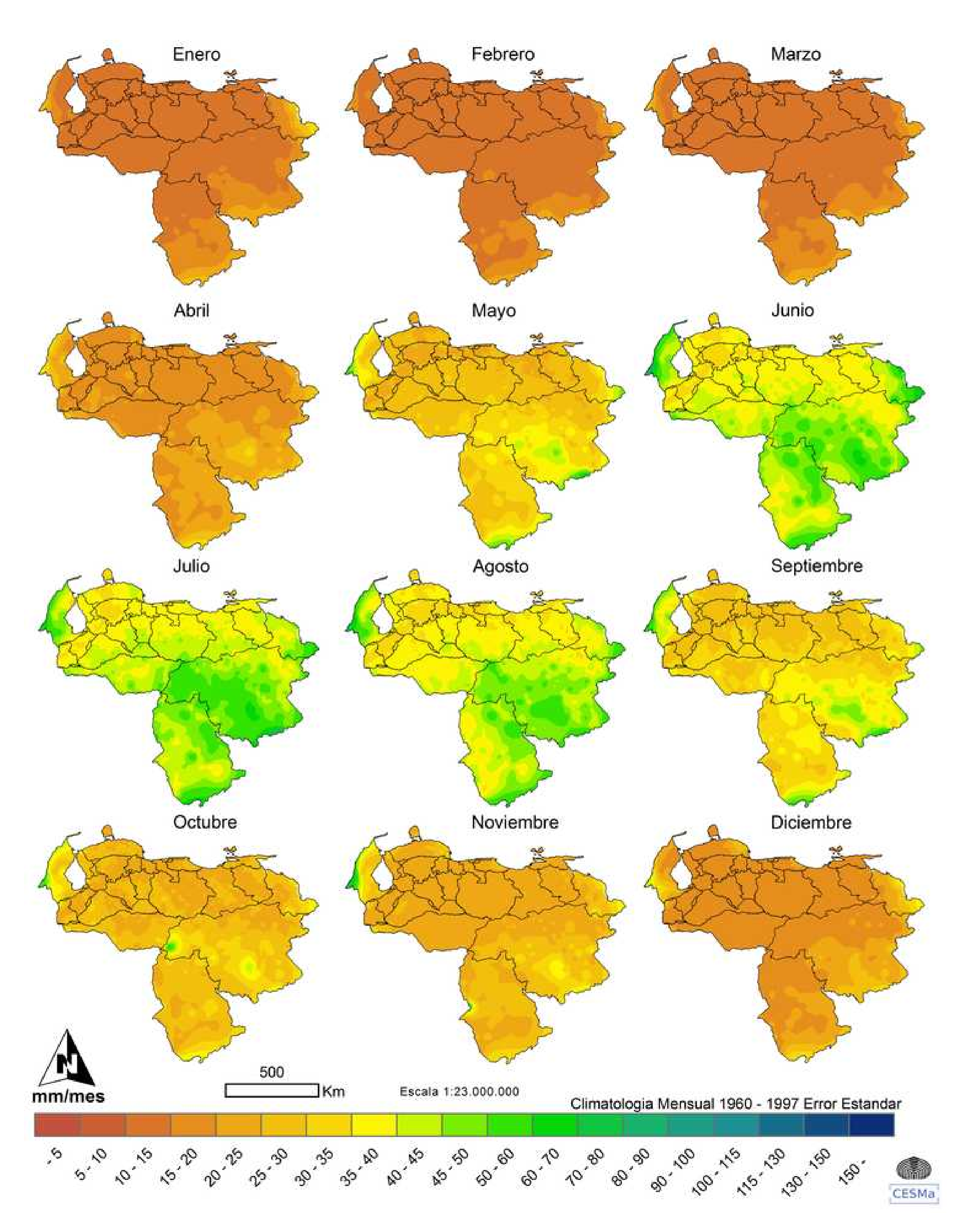


Figura 6.13: Error estándar de la precipitación mensual promedio para el período 1960–1997.

Mapa de Intervención de Areas Naturales

Estado Sucre - Venezuela

10°30'42"N

64°9'47"W
63°39'47"W
63°9'47"W
62°39'47"W
62°9'47"W

50 25 0 50 Km

Escala gráfica

1:1,140,000

Escala absoluta

Datum horizontal: WGS 84 (SIRGAS - REGVEN)
Esferoide Internacional

Leyenda

Areas Naturales Intervenidas

- Cuerpos de Agua
- Ricamente Intervenido
- Intervenido
- Suficientemente Intervenido
- Medianamente intervenido
- Moderadamente Intervenido
- Pobremente Intervenida
- Municipios del edo. Sucre



Universidad Simón Bolívar
Centro de Estadística y Software Matemático CESMa
Caracas - Venezuela

Para la elaboración de este mapa se tomó como base las coberturas de vegetación de la Unidad de Información Geográfica Centro de Ecología ECOSIG - IVIC. http://ecosig.ivic.ve. Venezuela, 2006
Realizado en el software ESRI ArcMap Versión 9.0
Raúl Ramírez rramirez@cesma.usb.ve

¿Cómo utilizamos el RDHC para analizar problemas relacionados con la gestión del riesgo epidemiológico y ambiental?



La República Bolivariana de Venezuela se encamina a ordenar y desarrollar su territorio de 916.445 km^2 de superficie total, con una superficie de zona insular que se calcula en 1.492 km^2 de zonas marinas, bajo la premisa fundamental de la sustentabilidad. Ello implica que se debe planificar el uso de la tierra y sus recursos bajo el concepto de armonía entre el hombre y su ambiente. Este enfoque se basa en la teoría de sistemas [75] y desde luego la definición de que la biosfera o región de la tierra donde es posible la vida en forma estable, está limitada entre la litosfera y la estratosfera.

El enfoque sistémico a partir de la geografía, la ecología y otras ramas de las ciencias de la tierra, conciben la biosfera, para su estudio, como una secuencia de ecosistemas que se han venido desarrollando en el tiempo como sistemas termodinámicamente abiertos, esto es, intercambiando materia, energía e información de manera continua, entre dos subsistemas, la matriz abiótica y las comunidades vivas entendidas como el sistema biótico del ecosistema, separados sólo a efectos de estudio, ya que en la naturaleza aparecen conspicuamente relacionados.

Un estudio de ordenamiento territorial que contemple optimizar las estrategias de su manejo requiere conocer no sólo la condiciones actuales de los ecosistemas, sino también su historia evolutiva, tanto de la geología del territorio, como del tenor y del patrón de los fenómenos que han determinado el clima, los suelos, la hidrografía y las formas de terreno. Esto permite explicar la existencia de la correspondencia entre las condiciones y la respuesta del subsistema biótico establecido en el ecosistema.

Al incluir al hombre como parte del ecosistema es indiscutible que su influencia como agente modificador de las relaciones ha sido determinante, no solo local o regionalmente, sino globalmente. Su acción ha generado cambios en los ciclos biogeoquímicos de los elementos y componentes básicos de los sistemas, como lo son el carbono y el agua. Localmente, ha comprometido el funcionamiento estable de los ecosistemas por efecto de la contaminación generada por sustancias pertinaces en el ambiente, afectando la fertilidad de los suelos, contribuyendo a la desaparición de fuentes de agua y a la disminución de la diversidad biológica.

La importancia de este tema es grande en una nación como Venezuela, megadiversa, tanto por su alto patrimonio genético por la riqueza de especies y su gran número de ecosistemas, marinos y continentales, que pueden desdoblarse, para su estudio, en centenares de diferentes paisajes ecológicos. Al considerar el enfoque de

paisajes ecológicos [35] puede entenderse que los ecosistemas venezolanos se van conformando en una serie de paisajes que responden, con sus patrones espaciales a: formas del terreno, zonación por altura, patrones de variación de temperatura, hidrografía, radiación solar, vientos y factores pedológicos, entre otros.

Va surgiendo así, una metodología de análisis que mantiene el enfoque holístico y que permite definir atributos y procesos que corresponden a diversos sistemas, entendidos éstos como comunidades vivas sobre una matriz físico-natural. Su historia explica su estabilidad y continuidad, excepto cuando por acción entrópica se ha desviado a un estado distinto [58, 10, 12]. Las bondades de esta metodología permite recapitular toda la ecología en un solo sistema jerárquico, multi-divisivo pero continúo, de diversos niveles de percepción espacio-temporal.

Importancia del repositorio hidroclimático como parte de la metodología de análisis

Sobre este marco teórico y metodológico, se ha desarrollado una serie de estudios que funden los enfoques geográficos y ecológicos, por la espacialización de la información. Esto significa que se ha incorporado el espacio como una más de las variables explicativas de los procesos y fenómenos que determinan la dinámica de los ecosistemas, para entender, en espacio y tiempo, su comportamiento bajo la secuencia jerárquica de los paisajes que los conforman.

Bajo este marco de trabajo, es fácil comprender la utilidad e importancia de un repositorio de datos hidroclimáticos que de manera sistemática recopila la historia y valores actuales de los procesos climáticos e hidrológicos, a un nivel de aproximación territorial que corresponde a los niveles de resolución de los paisajes implícitos en las áreas estudiadas. Se van sumando en el mismo esquema jerárquico el conocimiento y el seguimiento de la información, bajo el concepto de repositorios sistemáticos automatizados. Ello permite evaluar los productos de información y la calidad en los datos usando la definición de los metadatos propios de cada variable en el repositorio. Con los repositorios se busca reducir los niveles de incertidumbre y generar una base objetiva que permite estructurar los procesos de toma de decisiones y expresarlos en su contexto espacial, usualmente en forma de mapas temáticos que permiten visualizar la expresión espacial de los cambios temporales. Estos mapas, junto a otras herramientas tecnológicas (imágenes digitales provenientes de: sensores remotos, satélites ópticos, radares) y de trabajo de campo (recopilación de: medidas físicas y químicas del ambiente, evaluación y medición de los componentes bióticos, levantamiento de información socioeconómica y cultural) proporcionan la base para el análisis de los ecosistemas sobre el esquema de los diversos niveles jerárquicos.

Áreas de estudio e hipótesis de trabajo

La metodología expuesta, de enfoque holístico, sistémico y basado en la teoría de paisajes ecológicos permite estudiar espacios geográficos a diversos niveles de resolución. El estudio se centra en los estados Miranda, Sucre y Mérida. En los dos primeros se fijó la atención sobre los humedales, principalmente en el estado Sucre

por su estrecha relación con la salud pública y particularmente con la malaria y su dinámica. En el caso del estado Mérida, se consideraron diferentes paisajes sobre todo los de montaña.

Las hipótesis principales se estructuraron bajo la fundamentación de los paisajes ecológicos, añadiendo los conceptos de vulnerabilidad y amenazas. Esto se desarrolla considerando las formas en que el hombre modifica los sistemas que favorecen o no las condiciones de sustentabilidad y calidad de vida en correspondencia con el impacto de sus actividades en la matriz físico-natural y en las comunidades bióticas establecidas.

En el estado Sucre, se consideraron varios niveles de resolución, correspondientes a datos de campo e imágenes provenientes de sensores remotos. Además del análisis espacial a diferentes escalas (locales, regionales y globales) se incorporaron datos de relieve a partir de modelos digitales de terreno, generando superficies en tres dimensiones, explicando de esta forma aquellos elementos del análisis espacial que se refieren a las formas de terreno y su dinámica hídrica, originando ejes de drenaje y cuerpos de agua permanentes e intermitentes, que crean ambientes diferenciales con distintas dinámicas de sus comunidades bióticas.

Análisis exploratorio de la variabilidad climática

Para considerar la variabilidad climática a nivel global se realizó un estudio del comportamiento del índice de la Serie de Tiempo de ENSO Tiempo Bivariado *(BEST, Bivariate ENSO Time Series)* a través de modelos de cadenas de Markov, siendo ENSO el índice El Niño-Oscilación Sur. El índice *BEST* fue diseñado para proveer una serie histórica larga de los eventos ENSO. Combinando los valores del Índice de Oscilación Sur (*SOI, Southern Oscillation Index* en inglés), con los registros de Temperatura de la Superficie del Mar (*SST, Sea Surface Temperature* en inglés) en la región de El Niño 3.4, en el Pacífico ecuatorial, se integran los procesos atmosféricos y oceánicos en un solo indicador. Dicho estudio se realizó por décadas desde el año 1950 hasta el año 2000 y se identificaron patrones de comportamiento ENSO, sus fases (cálida, neutra y fría), sus conexiones, desconexiones y reconexiones entre ellas [15]. Ver Figura 7.1.

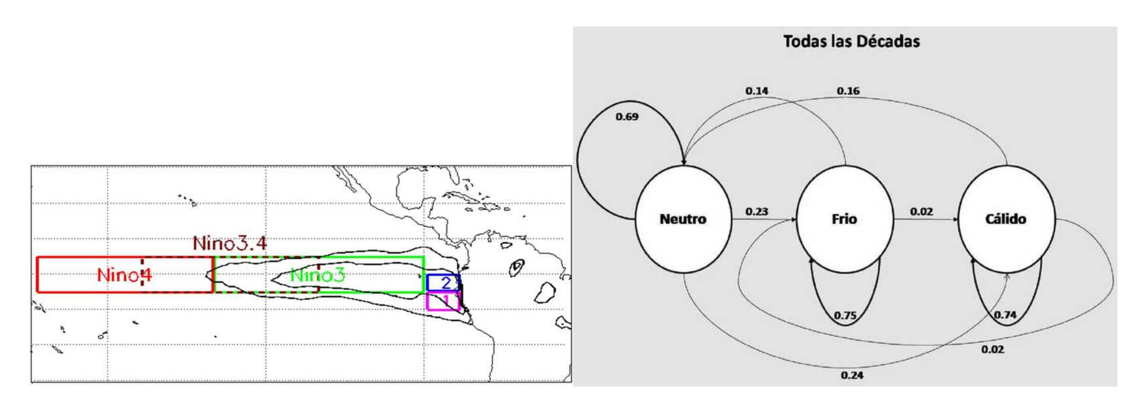


Figura 7.1: Regiones ENSO (izquierda) y grafo dirigido representando los estados y las transiciones en todas las décadas entre 1950–2000 (derecha). Los números en los arcos identifican las probabilidades de transición estimadas.

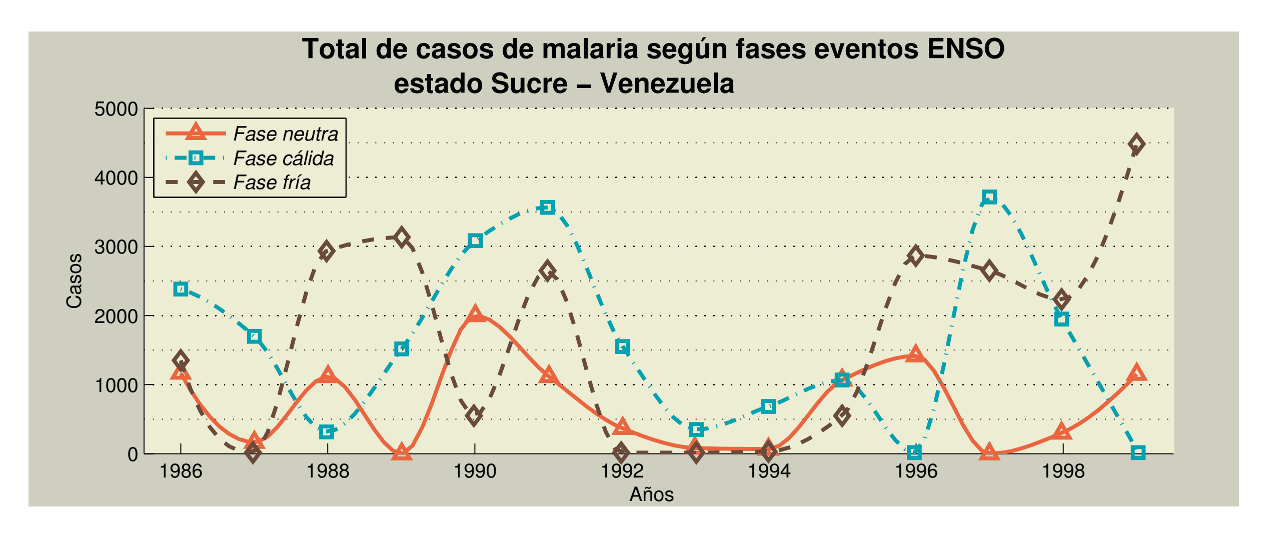


Figura 7.2: Total de casos de malaria según fases ENSO, para el estado Sucre, 1986–1999.

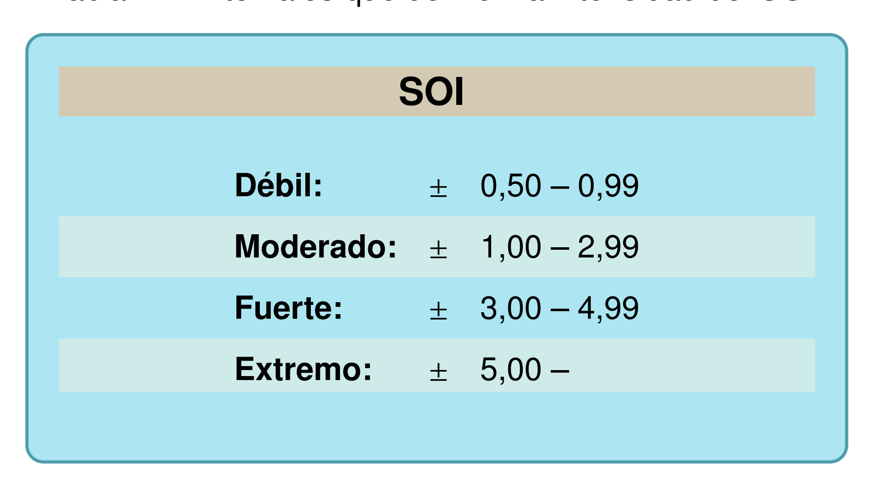
Los indicadores de variabilidad climática como el *SOI*, el *SST*, y el *BEST* entre otros, contienen un registro histórico de la evolución de los eventos ENSO, considerados como las oscilaciones anómalas en los valores de presión atmosférica y temperatura superficial de las aguas del Pacífico ecuatorial, donde es posible visualizar diferentes fases o estados del mismo fenómeno climático.

De acuerdo al Centro de Predicciones Climatológicas de la NOAA (*National Oceanic Atmospheric Administration*, en inglés), la fase cálida se presenta cuando las temperaturas superficiales del mar en el Pacífico ecuatorial, registran anomalías superiores o iguales a +0,5 ℃, para el área de ocurrencia del evento ENSO 2+1, 3 y 3+4 (ver Figura 7.1). La fase fría, corresponde al estado inverso, cuando los valores de las anomalías de la temperatura son iguales o inferiores a −0,5 ℃ [15] y una fase neutra o condición normal (entre ±0,49 ℃), cuando no se evidencia en los registros alguna alteración.

Un análisis exploratorio fue realizado, tomando en consideración los casos totales de malaria en el estado Sucre (1986–1999) versus las fases del fenómeno ENSO (cálida, fría y neutra). Los resultados muestran un comportamiento diferenciado en la ocurrencia de casos para cada una de las fases en el estado, encontrándose mayor número de casos asociados a las fases cálidas y frías, aunque con una mayor incidencia en esta última (ver Figura 7.2). También se analizó la ocurrencia de casos de malaria según la intensidad de los eventos ENSO de acuerdo a los rangos de intensidad del *SOI* que se muestras en la Tabla 7.1. Este análisis se realizó para la totalidad de casos del estado Sucre y para los casos en el municipio Cajigal (en el corredor epidemiológico) y en el municipio Sucre, donde se localizan focos estacionales de la enfermedad.

Tal como se observa en las Figuras 7.3 y 7.4, la mayor cantidad de casos de malaria en el municipio Cajigal durante la fases cálida y fría, ocurren cuando la intensidad del evento ENSO es moderada, en tanto que durante las fases débiles y fuertes disminuye el número de casos.

Tabla 7.1: Intervalos que definen la intensidad del *SOI*.



SOI		
Débil:	±	0,50 – 0,99
Moderado:	±	1,00 – 2,99
Fuerte:	±	3,00 – 4,99
Extremo:	±	5,00 –

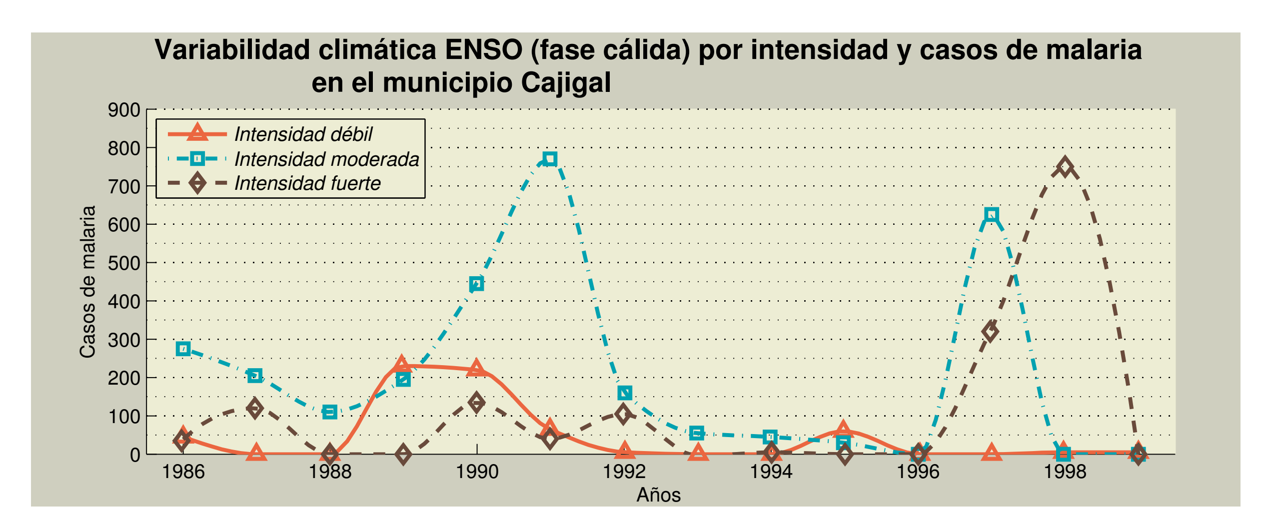


Figura 7.3: Total de casos de malaria reportado en el municipio Cajigal, estado Sucre, durante fase cálida definida según intensidad del evento ENSO en el período 1986–1999.

En cambio, en el municipio Sucre se observa un incremento en los casos de malaria, que se inicia durante un evento ENSO moderado, sosteniéndose hasta el año siguiente, durante un evento cálido fuerte (ver Figura 7.5). Durante la fase fría en cambio, se observa la ocurrencia de casos sólo durante los eventos moderados o débiles (ver Figura 7.6).

Estos patrones diferenciados confirman el efecto que tienen la heterogeneidad espacial, la variabilidad climática y los elementos modificadores del clima, sobre el subsistema malaria. Igualmente, se evaluó la relación entre los casos de malaria reportados mensualmente de los municipios Mariño y Arismendi, ambos sobre el corredor epidemiológico [28] y la variabilidad climática ENSO (ver Figuras 7.7, 7.8 y 7.9).

El comportamiento de los casos de malaria en los municipios que están sobre el corredor epidemiológico, se expresa de manera diferenciada, con respecto a los casos de los municipios que están fuera del corredor, como es el municipio Sucre. Por ejemplo, en los municipios Mariño y Arismendi la mayor cantidad de casos de malaria

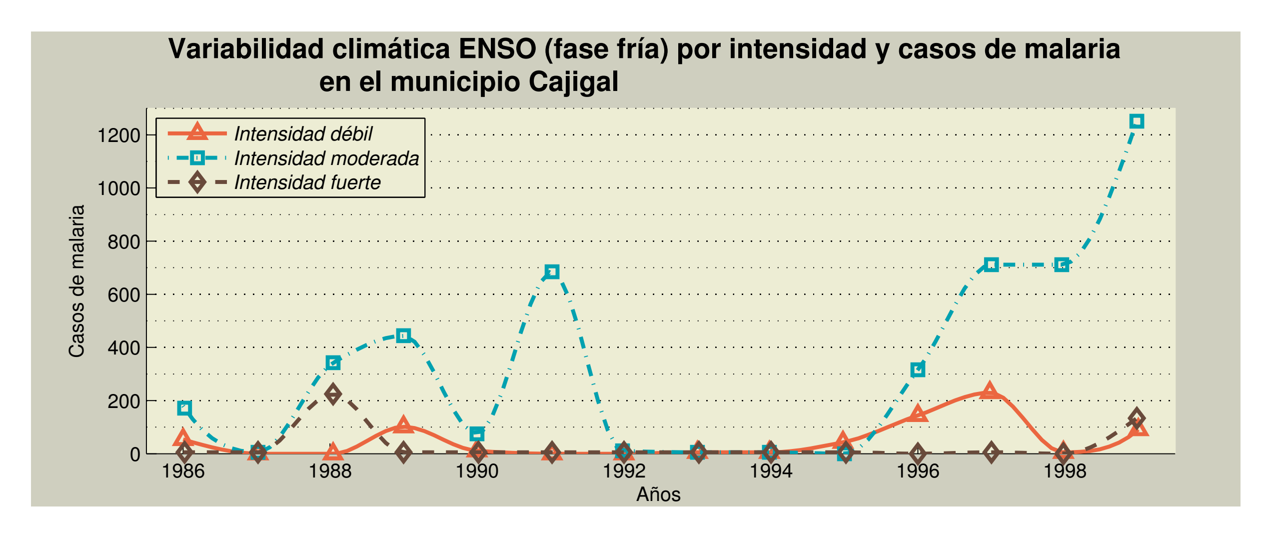


Figura 7.4: Total de casos de malaria reportados en el municipio Cajigal, estado Sucre, durante la fase fría definida según intensidad del evento ENSO en el período 1986–1999.

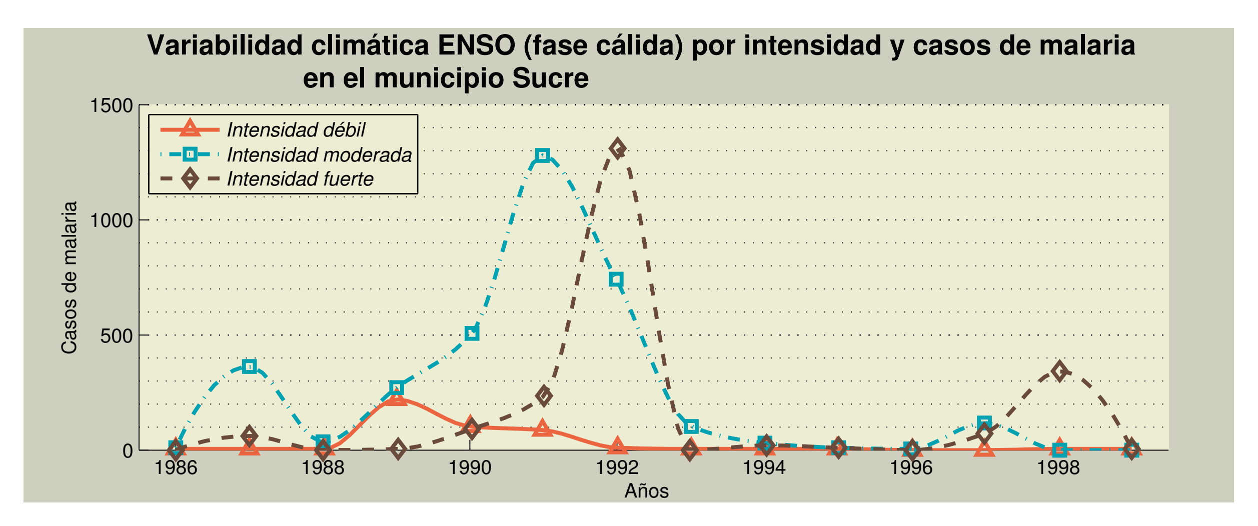


Figura 7.5: Total de casos de malaria reportados en el municipio Sucre, estado Sucre, durante la fase cálida, definida según intensidad del evento ENSO en el período 1986–1999.

ocurren en el primer semestre del año, durante los eventos cálidos (El Niño, 1997), por el contrario durante los eventos fríos, se observa un incremento hacia el final segundo semestre (La Niña, 1999). En el caso del municipio Sucre, localizado en la región noroccidental del estado Sucre, la variabilidad climática no presenta un mayor efecto sobre la ocurrencia de casos de malaria. Por el contrario, el mayor número de casos se observa durante el año neutro 1990 (ver Figura 7.9).

Las Figuras 7.7, 7.8 y 7.9 presentan como años típicos de la variabilidad climática a los años 1990, 1997 y 1999. Para su determinación se utilizó el índice *SST* de la NOAA [53]; los eventos Niño se asocian a anomalías positivas de temperatura (+) y los eventos Niña a anomalías de temperatura negativas (−). Se considera un año típico, cuando se presentan valores anómalos positivos o negativos (± 0,5, según sea el caso) durante cinco o más períodos consecutivos.

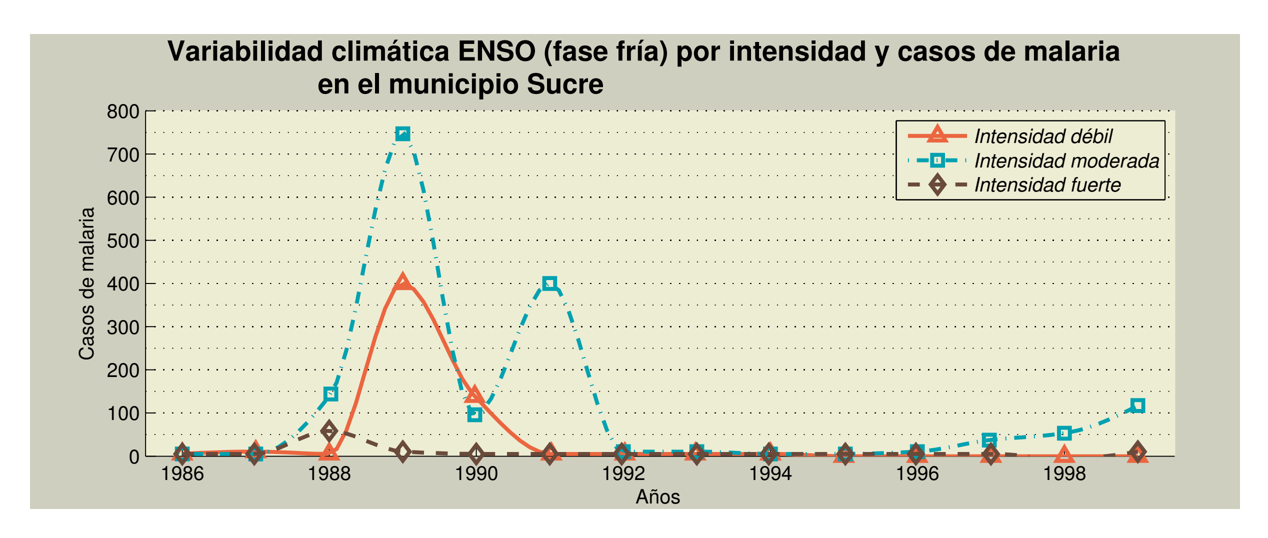


Figura 7.6: Total de casos de malaria reportados en el municipio Sucre, estado Sucre, durante la fase fría, definida según intensidad del evento ENSO en el período 1986–1999.

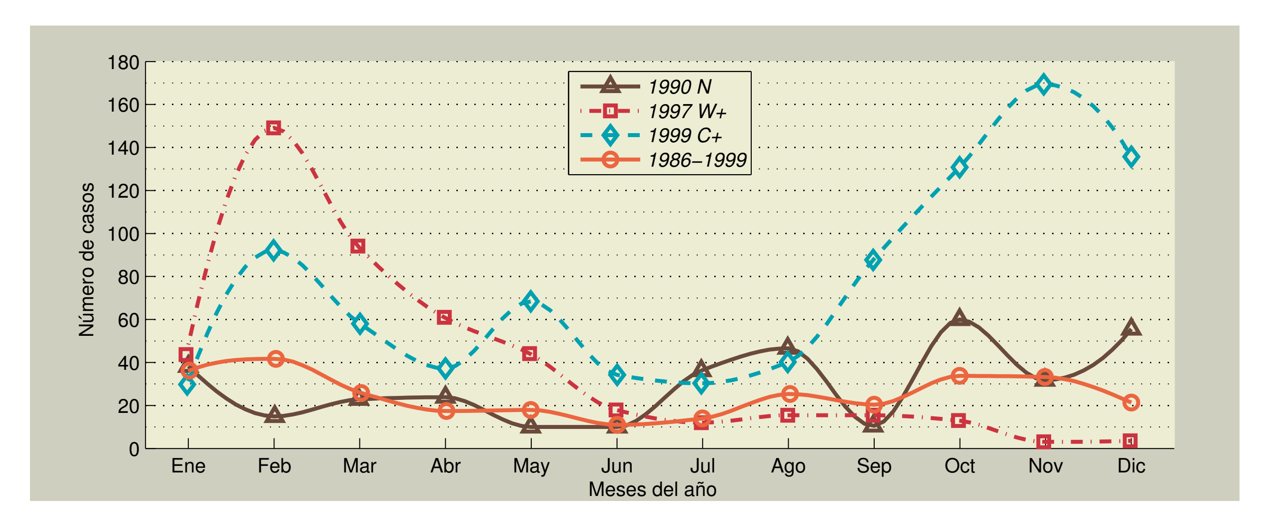


Figura 7.7: Total de casos de malaria reportados mensualmente en el municipio Mariño, estado Sucre, por fases de eventos ENSO. Donde N: evento neutro, W: evento cálido y C: evento frío. La línea de color naranja corresponde al promedio de los casos en el período 1986–1999.

Estadística exploratoria, variabilidad climática y heterogeneidad espacio-temporal

Con el objeto de estudiar tanto el factor espacial como la variabilidad climática, y las fases e intensidad del fenómeno ENSO y su efecto sobre la incidencia de los casos de malaria en la región descrita, se aplicó el análisis de la varianza (*ANOVA, Analysis Of Variance* según terminología inglesa) desde una aproximación exploratoria en lugar de la perspectiva confirmatoria tradicional [43].

Se puede apreciar en la Figura 7.10 que, en efecto, la mayor cantidad de casos de malaria reportados ocurren durante los eventos ENSO de intensidad moderada. Una exploración de los valores de precipitación para el período de estudio evidenció que

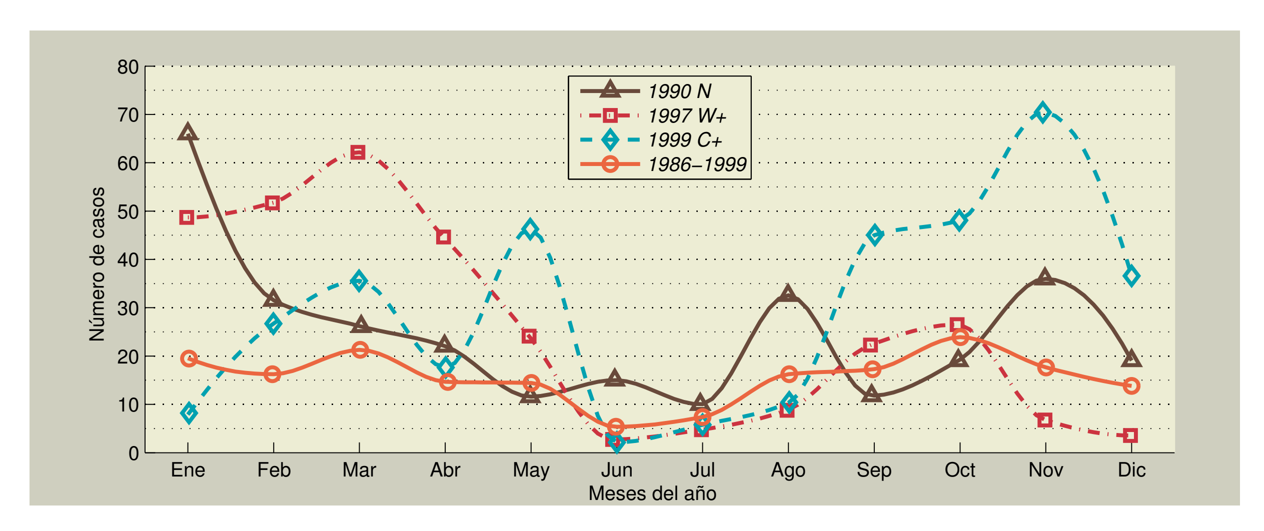


Figura 7.8: Total de casos de malaria reportados mensualmente en el municipio Arismendi, estado Sucre, por fases de eventos ENSO. Donde N: evento neutro, W: evento cálido y C: evento frío. La línea de color naranja corresponde al promedio de los casos en el período 1986–1999.

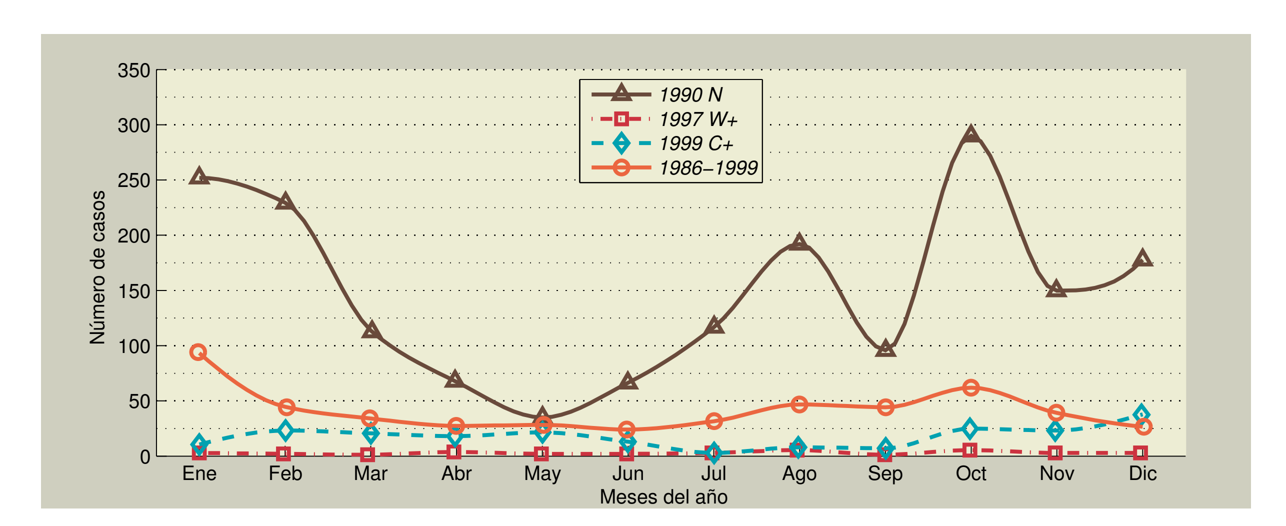


Figura 7.9: Total de casos de malaria reportados mensualmente en el municipio Sucre, estado Sucre, por fases de eventos ENSO. Donde N: evento neutro, W: evento cálido y C: evento frío. La línea de color naranja corresponde al promedio de los casos en el período 1986–1999.

durante los años neutro, la precipitación se distribuye mejor espacialmente. Durante los episodios ENSO extremos, tanto fuertes como débiles, el comportamiento de los casos es similar, ello debido a varias condiciones ambientales y climáticas. Por ejemplo, durante un evento Niño fuerte, el déficit hídrico afecta la duración de la lámina de agua, aumentando la mortalidad de los estadíos inmaduros, incidiendo en consecuencia, sobre la población adulta de *Anopheles aquasalis*. Caso contrario ocurre durante los eventos Niña fuerte, ya que los excedentes hídricos arrastran los huevos y larvas fuera de los criaderos, aumentando la mortalidad del vector. Estos análisis exploratorios consideraron las variables que se muestran en la Tabla 7.2.

Los resultados obtenidos quedan expresados en la Tabla 7.3 donde se aprecian los

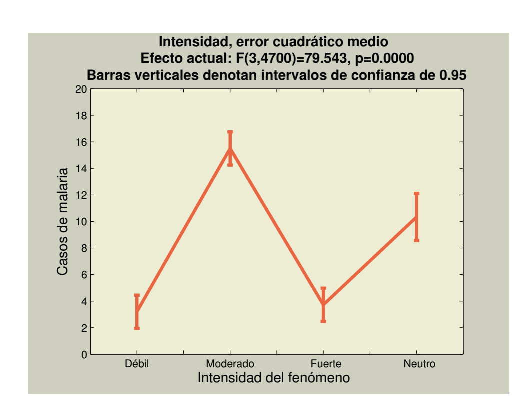


Figura 7.10: Casos de malaria vs. intensidad del fenómeno.

Tabla 7.2: Descriptores de las variables.

Variable	Tipo	Niveles
Parroquia	Categórica	28 parroquias
Casos de malaria	Continua	–
Mes	Categórica	12 meses
Año	Categórica	11 años
Fase del fenómeno climático	Categórica	Frío (F), Cálido (C)
Intensidad del fenómeno climático	Categórica	Débil (–), Neutro (N), Fuerte (+)
Fenómeno climático	Categórica	F–, F, F+, N, C–, C, C+

efectos factoriales. Los datos de los casos fueron transformados aplicando el logaritmo neperiano del número de casos +0,5, con la finalidad de homogeneizar las varianzas de éstos, para hacer representativo el análisis. En la tabla se observa que hay un efecto temporal (período-mes) sobre los casos, así como también un efecto espacial (parroquias) y el efecto climático representado por la intensidad del fenómeno.

La heterogeneidad espacial y sus efectos sobre la dinámica de la malaria en el estado Sucre

A los efectos de este estudio se trabajó con el foco nororiental de la malaria en Venezuela, conformado por los estados Delta Amacuro y Sucre, siendo este último el centro del análisis, por haber ocupado los primeros lugares a nivel nacional, como entidad malárica [26]. Tal como lo describen [26, 24, 17], esta área de estudio se encuentra localizada en la parte nororiental de Venezuela, ubicada específicamente entre los meridianos 61° 50' 44" y 64° 30' 00" W y los paralelos 10° 13' 10" y 10° 44' 10" N con una superficie de 11.800 km^2 (ver Figura 7.11). En [20], se describe el área desde el punto de vista climático con un gradiente de precipitación que se incrementa en el sentido Güiria-El Pilar, abarcando rangos altitudinales que oscilan desde los 0 msnm

Tabla 7.3: Tabla de *ANOVA* para la variable ln(casos +0,5).

Fuente	GL	S. de C.	C. Medios	Razón F	p-valor
Mes	11	74,48	6,77	9,47	0,000
Período	1	317,25	317,25	**443,54**	0,000
Parroquia	27	3364,58	**124,61**	**174,22**	0,000
Fenómeno	6	1765,34	294,22	**411,35**	0,000
Mes × Período	11	61,11	5,56	7,77	0,000
Mes × Parroquia	297	128,35	0,43	0,60	1,000
Mes × Fenómeno	66	1102,86	16,71	23,36	0,000
Período × Parroquia	27	399,13	**14,78**	20,67	0,000
Período × Fenómeno	6	181,37	30,23	**42,26**	0,000
Parroquia × Fenómeno	162	1161,24	**7,17**	10,02	0,000
Mes × Período × Parroquia	297	146,46	0,49	0,69	1,000
Mes × Período × Fenómeno	66	1205,56	18,27	25,54	0,000
Mes × Parroquia × Fenómeno	1782	1307,84	0,73	1,03	0,294
Período × Parroquia × Fenómeno	162	242,37	**1,50**	2,09	0,000
Error	1782	1274,61	0,72		
Total	**4703**	**12732,92**			

hasta los 1200 msnm. Con respecto a la temperatura, ésta oscila entre 25–27 ℃ (promedio anual) y la humedad varía entre 80 % en época seca y 90 % en época húmeda. Así mismo en [25], se describe como un área cuya característica natural es la presencia de humedales, entendiéndose éstos como zonas bajas, de poca pendiente e inundables, que resultan de la acumulación y retención de agua de lluvia y de drenajes superficiales, lo que facilita la generación de criaderos del vector de la malaria en esta zona, *Anopheles aquasalis*. Esta caracterización ambiental pone en evidencia la alta heterogeneidad espacial y climática de este estado.

Hipótesis de subsistema anidado

Cuando se analizó la dinámica de la malaria, una de las enfermedades metaxénicas más importantes y conspicuas del estado Sucre, se consideraron tres niveles de resolución espacial (global, regional y local). Con respecto al nivel relacionado con la alteración de los patrones de variabilidad climática, se examinaron los cambios en los patrones climáticos generados por el fenómeno ENSO y sus efectos sobre esta dinámica.

El análisis incluyó no solo a los años Niño, Niña y neutros, sino también consideró la intensidad del fenómeno (débil, moderado y fuerte), tal como se explicó anteriormente, y se encontró cómo se relacionaban con la expresión espacial y la persistencia de la malaria en este estado [21, 19, 14] (ver Figura 7.11). De forma similar, se exploró el comportamiento tanto del subsistema malaria como del clima a nivel local y se compararon estadísticamente algunas localidades (Irapa, Yaguaraparo, Nurucual, entre otras). Existen estudios similares en la región (ver p. e. [9, 70, 69]) que revelan la presencia de áreas con diferentes capacidades para iniciar o mantener brotes de malaria en las poblaciones humanas asentadas en esas zonas. Según [24] estas son zonas bajas y de poca pendiente, conformadas principalmente por suelos mal drenados, lo que genera el entorno de unidades naturales llamadas *humedales*.

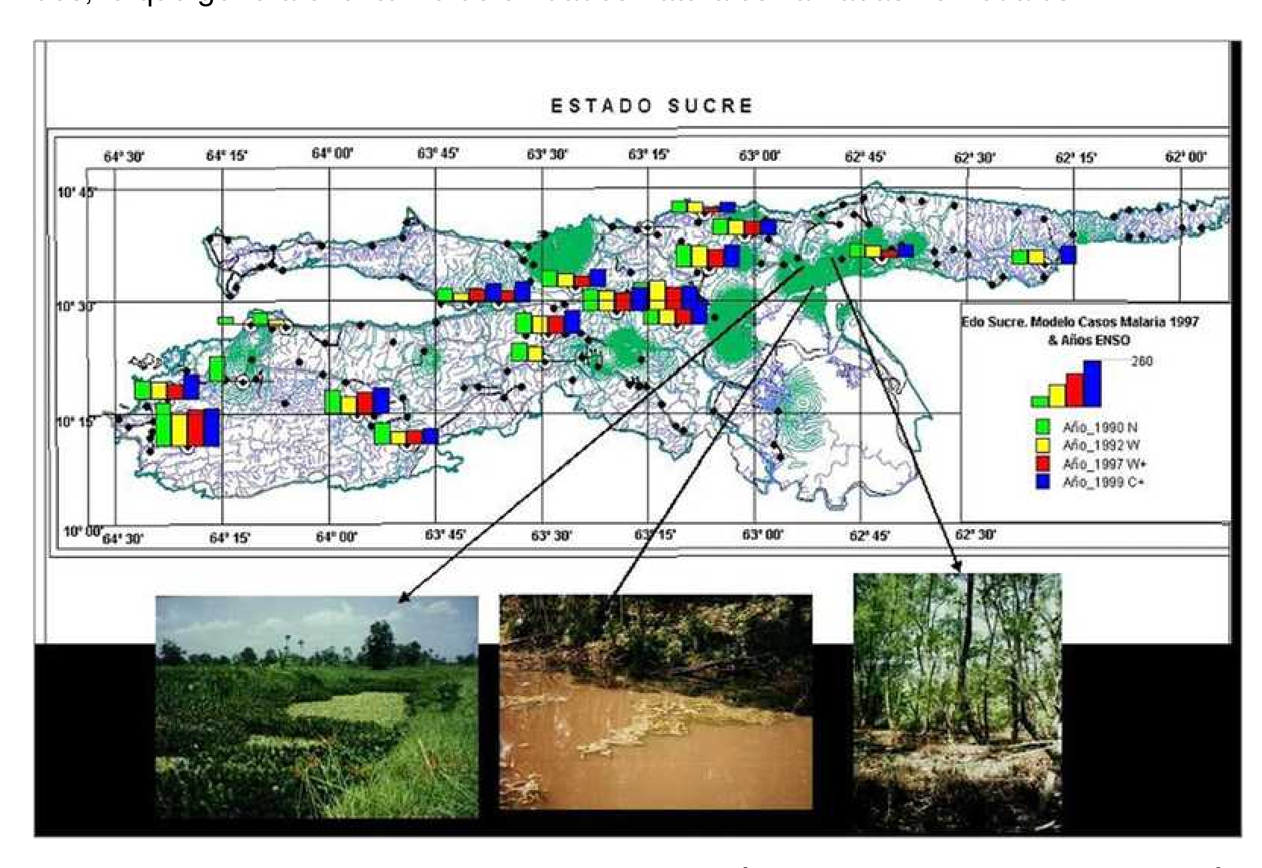


Figura 7.11: Modelo espacial de la incidencia malárica para el año 1997 y su relación con la precipitación acumulada para cada año representativo de un evento climático. También se muestran los diferentes ambientes que evidencian la heterogeneidad espacial [18].

Estos humedales , como ya se dijo, son sitios potenciales para criaderos del vector de la enfermedad. Considerando este contexto espacial, se definieron los llamados focos o *puntos calientes*, usando (por primera vez en Venezuela) el concepto de *corredor epidemiológico* desde el punto de vista de la ecología de paisaje, donde la calidad de los datos climáticos, tanto de precipitación y temperatura junto a los descriptivos de los humedales como la vegetación y la salinidad, permitieron explicar cómo hay trayectorias espaciales donde las condiciones ambientales que prevalecen dentro de ciertos rangos, aumentan la persistencia de la malaria, lo cual fue corroborado con un estudio local a mayor escala espacial.

En cada caso se consideró la malaria no solamente como enfermedad sobre las poblaciones humanas, sino como un *subsistema ecológico anidado* en los ecosistemas que configuran la región. Así, en cada uno de estos sistemas existen elementos comunes y otros elementos singulares que dependen de los patrones climáticos y las características del entorno, que se expresan en la permanencia de los ambientes acuáticos de los humedales establecidos, con una dinámica espacio-temporal propia. Para más detalles sobre la dinámica espacio-temporal de la malaria en esta zona, se pueden revisar los trabajos de [17, 23, 28, 65].

Formas de terreno y la correlación espacio-temporal sobre el dengue en el estado Mérida

Se abordó la investigación en el estado Mérida enfocada en el estudio sobre la incidencia y prevalencia del dengue. Esta es otra enfermedad metaxénica de alto impacto sobre la población humana en Venezuela, que a diferencia de la malaria, está asociada a los medios urbanos y a los patrones culturales [5]. En cada caso de estudio, los análisis estadísticos han sido una de las herramientas que ha facilitado la interpretación de la información recopilada. Los resultados mostraron que la casuística para el dengue, en contraste con la de malaria, si facilitó el desarrollo de modelos estadísticos de la persistencia de esta enfermedad en el estado Mérida. Las características espaciales asociadas con las condiciones climáticas permitieron la descripción de los patrones anuales, asociados a las formas del terreno, así como también responder cuáles son las brechas espaciales por donde se va propagando la enfermedad en un ciclo anual, sobre las poblaciones humanas establecidas en el estado. Estos resultados se destacan en [48].

Contribución a la metodología de trabajo y emergencia de nuevos enfoques: eco-epidemiología panorámica

Tal como se ha venido comentando, el uso de datos hidroclimáticos sistematizados y los métodos estadísticos descriptivos y exploratorios, junto con la utilización de los productos derivados de los sensores remotos y trabajos de campo, ha aportado una gran robustez a los análisis desarrollados como aplicaciones. Sin embargo, es muy frecuente encontrar vacíos de información, bien porque no se recogieron sistemáticamente, o porque no existen, o poseen alguna inconsistencia. Esto sucede particularmente con datos básicos como: temperatura, precipitación, evaporación, humedad relativa, entre otros. En estos casos se ha recurrido a otras metodologías como son las técnicas de interpolación, los cálculos teóricos, procesamiento de las imágenes provenientes de sensores remotos, a fin de derivar datos que se pueden combinar o contrastar con los datos recopilados en las redes de estaciones y almacenados posteriormente en el repositorio. Tal fue el caso del uso de las bandas en los rangos del infrarrojo térmico, por ejemplo, para la obtención de datos relativos a la temperatura superficial o infrarrojo cercano a través del cálculo del Índice de Vegetación Normalizado, cuando se tienen imágenes multiespectrales.

Para la implementación de estas tecnologías geoespaciales, se escogieron imágenes de la serie satelital de la constelación Landsat (Landsat-TM 4–5 y Landsat-7

ETM+) que contienen una banda térmica que recoge datos en la longitud de onda de 10,40–12,50 µm. Un conjunto de imágenes de Landsat 7 ETM+ fue seleccionado considerando el nivel de resolución en la banda térmica (60 m), debido a que en el estado Sucre existe una deficiencia de estaciones terrenas tipo C1 (estación climática, hay nueve de este tipo para todo el estado), que registran la temperatura, humedad, evaporación, etc. Con la finalidad de explorar el efecto de la temperatura sobre las unidades naturales por su relación con el ciclo de vida del vector de malaria, se utilizó la técnica de conversión de los valores de reflectancia de la banda térmica de Landsat 7 ETM+ en °K, a valores de temperatura superficial en °C.

Para este análisis se procedió a la transformación de los Números Digitales de los píxeles del subconjunto para la banda térmica en modo de alta ganancia (*high gain*) 6–2 . En un sistema de información geográfico se desplegaron las imágenes *raster* provenientes de los análisis para la península de Paria, año 2003, conjuntamente con el modelo espacial de incidencia malárica (focos) para ese mismo año, encontrando una relación entre los focos y las temperaturas superficiales registradas entre 25 y 28 °C, ver Figura 7.12.

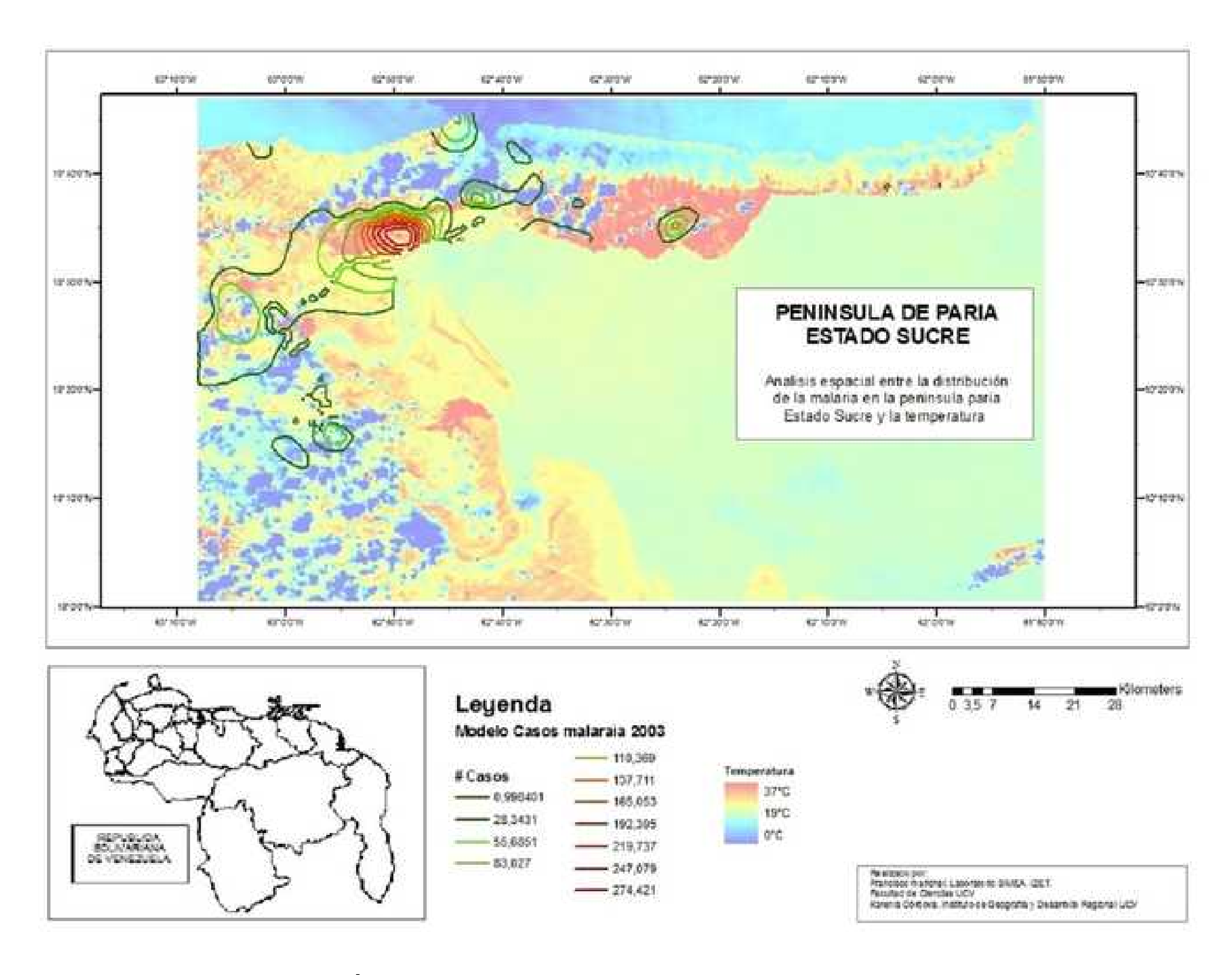


Figura 7.12: Mapa temático de temperaturas proveniente del procesamiento e interpretación de la banda térmica de la imagen 00153 de Landsat 7 ETM+ para marzo 2003 y el modelo espacial de incidencia malárica para el año 2003.

Otra técnica para estimar estos datos es utilizar el cálculo teórico del *gradiente al-*

totérmico. Con esta técnica, se obtuvieron rangos de temperatura para todo el estado, como se aprecia en la Figura 7.13, en donde se relaciona la temperatura con los casos de malaria durante la fase neutra, para cada una de las décadas estudiadas (1980 y 1990).

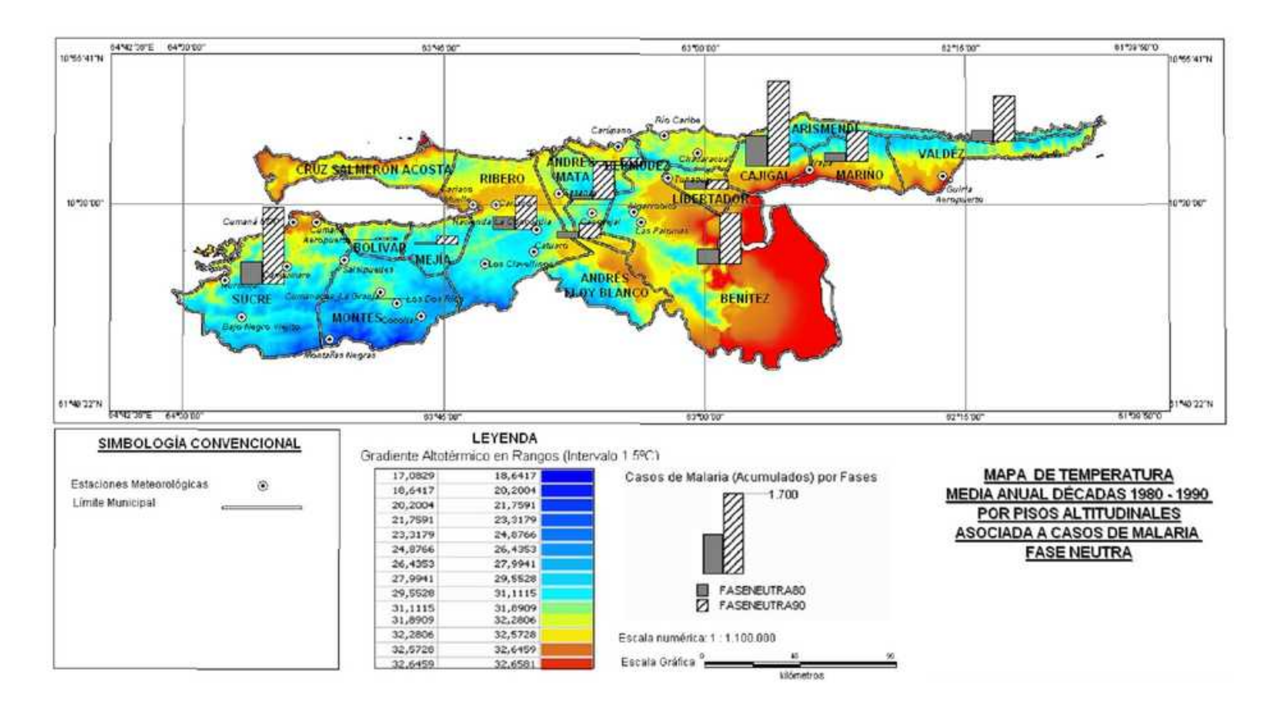


Figura 7.13: Mapa temático mostrando regiones con la temperatura calculada teóricamente y los casos de malaria asociados en fase neutra.

Esta técnica se aplicó tanto en los estudios del estado Sucre, como de los estados Mérida y Miranda, a fin de obtener los registros de las temperaturas de superficie en las horas de toma registradas por la banda térmica de los sensores multiespectrales, debido a que en casi todo el territorio nacional existe un déficit de datos de temperatura. De esta forma se propone una nueva metodología para la toma e interpretación de información, así como para contribuir al ordenamiento y mejor uso de la tierra dentro del concepto de sustentabilidad inicialmente enunciado. Estos aportes y alcances tecnológicos pueden revisarse en investigaciones realizadas por el grupo de trabajo [29].

La modalidad de investigación fundamentada en el enfoque eco-epidemiológico se apoya en las nuevas exigencias de los estudios ambientales y de salud pública, que manejan la “espacialización” de los datos, ya que la posición relativa de los elementos estructurales del ecosistema, generan relaciones funcionales que derivan atributos y mecanismos como resultado de la topología, que siendo atributos del sistema, favorecen la persistencia del subsistema metaxénico, por ejemplo, la malaria o el dengue de acuerdo al ecosistema analizado, mecanismos asociados a las propiedades sistémicas (resiliencia y sustentabilidad ecológica, entre otros) se activan.

Por otra parte, este enfoque incorpora cada vez más información relevante dando orígen así a la posibilidad de explicar estos fenómenos, por la interacción multifactorial de variables relevantes que han sido denominadas como descriptores de esa dinámica espacio-temporal y corroborada con las técnicas estadísticas utilizadas.

Finalmente, la eco-epidemiología panorámica, al apegarse a la teoría de paisajes ecológicos permite establecer una serie continua de análisis que van desde el enfoque global al estudio de alto nivel de detalle a nivel local, confiriéndole una gran robustez para la planificación de políticas de vigilancia epidemiológica y control de estas enfermedades, basadas en el manejo de sistemas y la monitarización o seguimiento ambiental [31, 13].

Respuesta del subsistema malaria, en términos de la incidencia malárica a la heterogeneidad espacial: El modelaje de la dinámica de la malaria, sobre un gradiente geográfico

La profundización en los estudios eco-epidemiológicos, ha permitido la revisión de las hipótesis que sintetizan la secuencia funcional del subsistema malárico, mediante el modelado de la dinámica poblacional de los segmentos bióticos que conforman este subsistema, desde las poblaciones de formas inmaduras que se desarrollan en los diferentes humedales marino costeros y continentales en la península de Paria, (área de estudios de donde se colectó la mayoría de los datos) pasando por las poblaciones adultas del vector *Anopheles aquasalis* (tanto en la fracción sana como en los que adquirieron al *Plasmodium* y se convierten en su agente transmisor) hasta finalmente las poblaciones de humanos susceptibles de ser picados por mosquitos portadores del *Plasmodium* o de transmitirlo a mosquitos que no lo tenían, convirtiéndolos así en vectores activos.

El modelo descrito en [67] representa estas interacciones a través de ecuaciones diferenciales que simulan la dinámica dentro de cada población considerada y entre ellas, en diversas localidades de la península. Se consideran escenarios que varían en la dinámica ecosistémica, tanto en la configuración de la estructura de la matriz físico-natural, como en las condiciones de factores climáticos y de las comunidades bióticas, de manera tal que se conforma un continuo ambiental.

Al analizar los resultados de las simulaciones del subsistema descrito en el trabajo [31], contra los valores reales de la incidencia malárica, evidencia una excelente aproximación de la variabilidad de la incidencia malárica real, a la que reproduce el modelo ajustado para cada una de las localidades que conforman el continuo espacial, ver Figuras 7.14, 7.15 y 7.16). Estos resultados no solo han servido para la validación del modelo de simulación del así llamado subsistema malárico, sino que refuerzan las evidencias sobre la hipótesis de la configuración topológica, como un factor relevante en la expresión temporal de la malaria, así como la existencia de puntos calientes, o puntos pasivos e intermitentes [39] y los corredores epidemiológicos [28].

Esta dinámica está fuertemente asociada a la combinación de los descriptores utilizados, como importantes variables que definen el ambiente que contiene al subsistema metaxénico y las relaciones de distancia entre esas localidades o nodos contenedores. En consecuencia, tanto el uso de los modelos como su ejecución bajo condiciones que definen distintos escenarios, se erigen como herramientas importantes para el diseño e implementación prospectiva de las políticas de vigilancia y control epidemiológicas, asegurando el éxito del enfoque eco-epidemiológico como alternativa para controlar estas enfermedades, basados en planes de manejo que incluyen estas relaciones ecológicas.

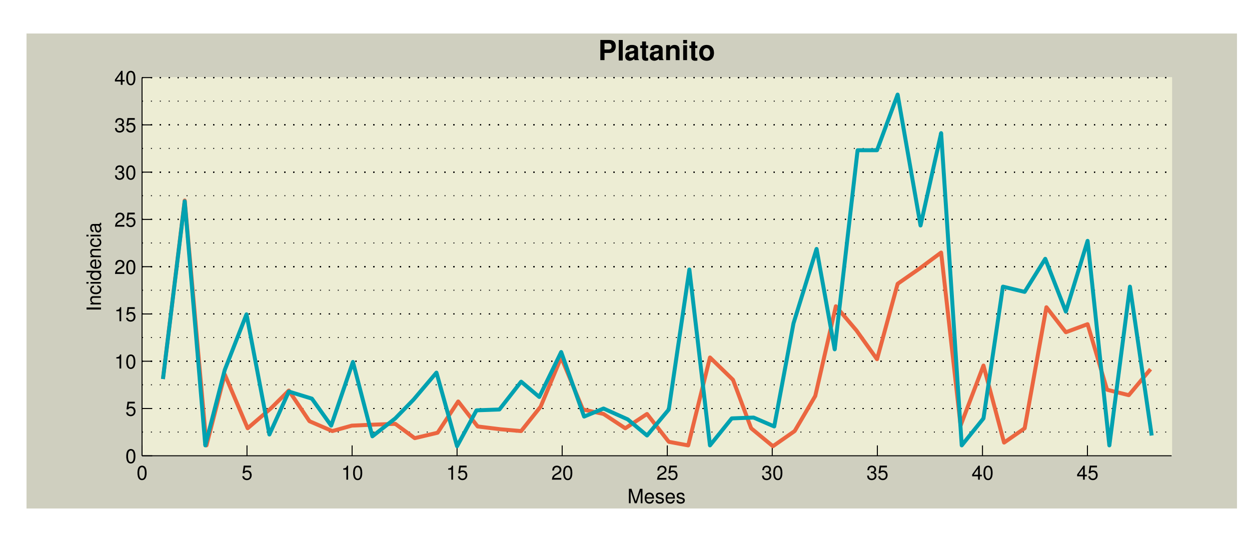


Figura 7.14: Incidencia de la malaria en la localidad de Platanito, estado Sucre. La línea azul indica los valores experimentales y la línea roja representa el ajuste del modelo descrito en [67]. Las coordenadas son: 10,6028° N 63,0139° W. Años de estudio: 1997 a 2000.

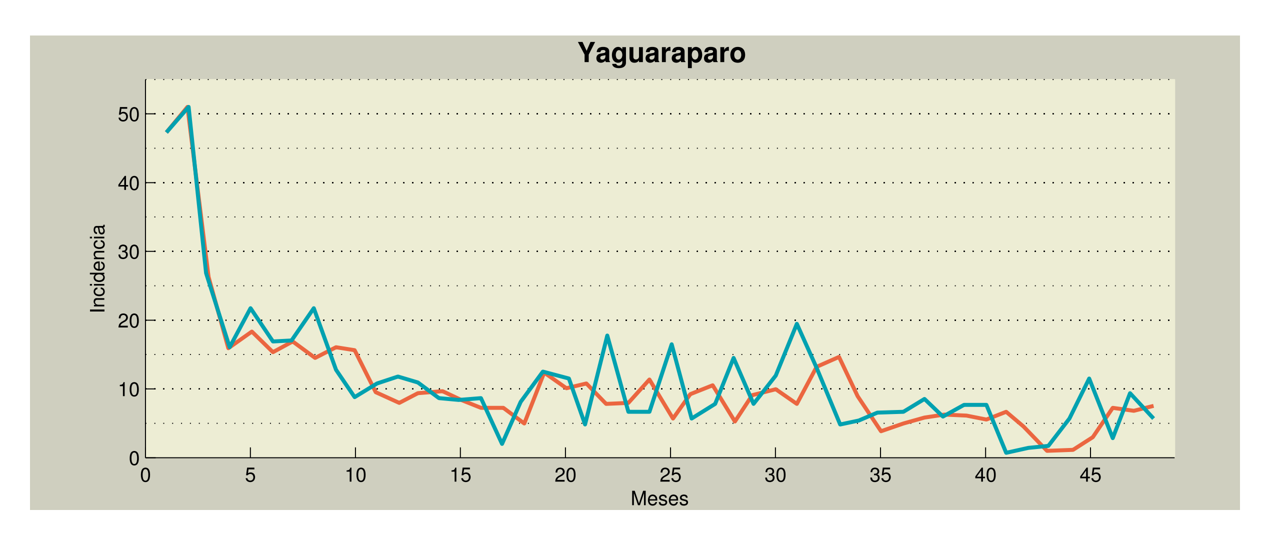


Figura 7.15: Incidencia de la malaria en la localidad de Yaguaraparo, estado Sucre. La línea azul indica los valores experimentales y la línea roja representa el ajuste del modelo. Las coordenadas son: 10,5683° N 62,8239° W. Años de estudio: 2003 a 2006.

Resultados de la investigación basada en el repositorio hidroclimático

El análisis de los resultados se presentan en cada caso, en los trabajos compilados en este capítulo, sin embargo, estos se pueden generalizar consolidándose el enfoque sistémico basado en la concepción de la teoría de paisajes, como un enfoque válido en la discusión del ordenamiento y definición de estrategias para los usos de la tierra, basados en el principio de sustentabilidad.

Son varios los aportes que se lograron bajo este enfoque, particularmente aquellos relacionados con la *eco-epidemiología panorámica* que viene constituyéndose en

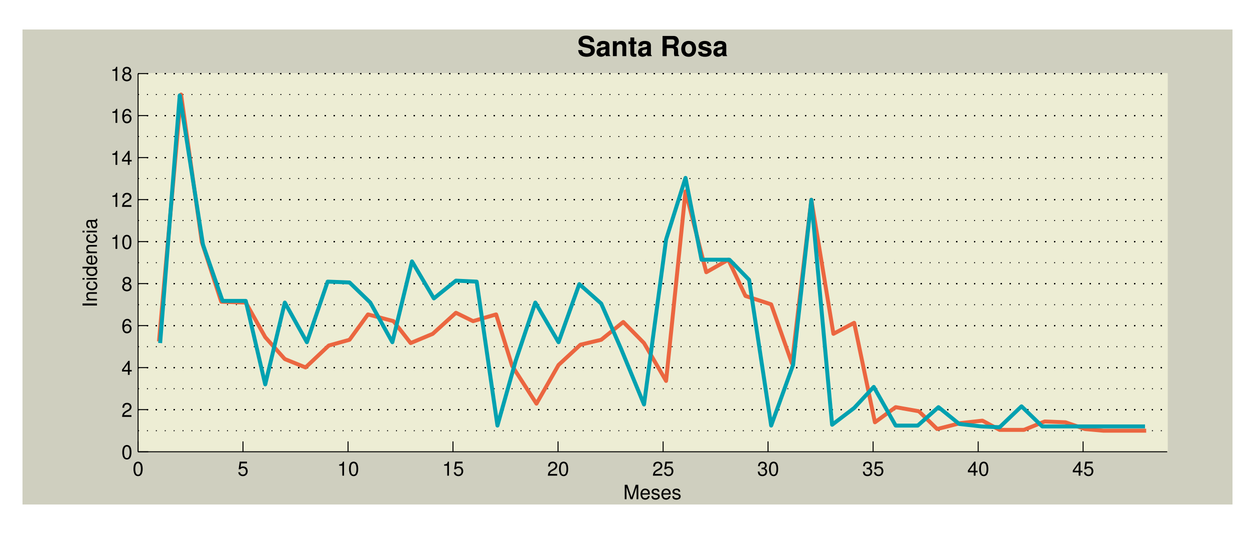


Figura 7.16: Incidencia de la malaria en la localidad de Santa Rosa, estado Sucre. La línea azul indica los valores experimentales y la línea roja representa el ajuste del modelo. Las coordenadas son: 10,4178° N 63,4028° W. Años de estudio: 2003 a 2006.

una escuela latinoamericana en el área de la eco-epidemiología [22, 20]. A su vez, este enfoque viene dando una alternativa que integra la información ecológica y socioeconómica para elaborar nuevos modelos de manejo de las enfermedades metaxénicas en medios rurales, al igual que en los medios urbanos, siempre tomando en cuenta el rol de los seres humanos como agentes modificadores del ambiente [21, 30]. Por ello, se hace necesario atenerse a los principios de sustentabilidad y al conocimiento de cómo funcionan los ecosistemas, para llegar a soluciones de problemas de tipo global, regional y local.

Los modelos de desarrollo social, deberán contar con un conocimiento amplio de sus entornos para lograr la armonización de los ambientes concebidos como una red de nodos interconectados que pueden generar un equilibrio de interacciones perdurables y en armonía dentro de los ecosistemas. Tales avances refuerzan esta visión que prevé las estrategias tomando en cuenta las amenazas y las vulnerabilidades de cada escenario, permitiendo el uso de modelos para obtener respuestas factibles de los sistemas con antelación, previa a la intervención y con capacidad de remediación, en aquellos ambientes que ya han sido impactados.

El acceso a los datos epidemiológicos y climáticos, almacenados, depurados, con controles de calidad y de seguridad, permitió ensayar los alcances y beneficios del repositorio, así como también, identificar las necesidades y demandas de investigación y los requerimientos de otros usuarios potenciales.

Algunas reflexiones finales

La importancia del repositorio sistematizado de información, reside en una forma de analizar como varían las condiciones de la matriz físico-natural y el principio de correspondencia, con las respuestas esperadas del componente biótico, a partir de los datos extraídos del repositorio. Estos datos al ser procesados permiten entender, en

función de las desviaciones de las tendencias, los efectos de la intervención antrópica o de eventos naturales, que actuando como perturbaciones, tienen el efecto de alterar estas respuestas de correspondencia hacia patrones distintos. Como se puede constatar en los diferentes niveles de percepción utilizados en el análisis, tales como:

1. los efectos del cambio climático sobre la variabilidad ENSO a nivel global y a nivel regional,

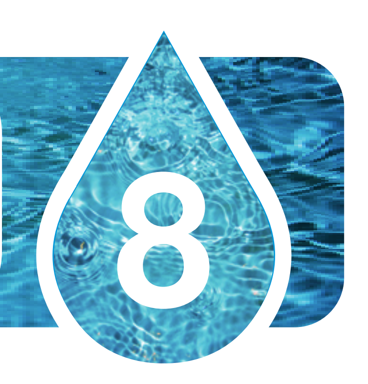
2. la distribución de enfermedades metaxénicas, p. e. la malaria y el dengue en los estados Sucre y Mérida y finalmente,

3. estudios locales

se puede identificar la existencia del subsistema anidado en base a la presencia de focos y de corredores. Lo anterior permite entender la respuesta del subsistema frente a las particularidades locales (heterogeneidad espacial).

Ante la dificultad de encontrar datos de variables ambientales vinculadas al clima, temperatura, velocidad del viento, radiación solar entre otras, fue necesario hacer uso de nuevas tecnologías y enfoques, como el uso combinado de información proveniente de sensores multiespectrales con banda térmica, técnicas estadísticas, exploratorias, entre otros. A fin de acercarnos a la realidad ambiental es necesario poder generar escenarios ambientales potenciales que contribuyan al diseño de políticas, estrategias de prevención, monitorización y control a nivel de salud pública.

¿Cuáles son los próximos pasos a seguir en el desarrollo de un RDHC?



Los objetivos planteados en este proyecto fueron por mucho tiempo el sueño de una gran cantidad investigadores, y también el de igual número de usuarios de los datos climáticos de Venezuela, quienes han sufrido y siguen sufriendo, los problemas de disponibilidad de datos, la mala calidad de los mismos, la dispersión de la información y la variedad de formatos de almacenamiento lo cuál hace difícil su procesamiento y análisis.

Para alcanzar un producto de calidad y de fácil acceso a los usuarios, tomamos esta iniciativa en el año 2005, año en el que fue aprobado el proyecto, con la finalidad de lograr en Venezuela una herramienta que facilitara el acceso a la base de datos hidroclimáticos a nivel nacional, con datos provenientes de distintas instituciones. Muchos países cuentan con herramientas que persiguen este mismo objetivo, y también se desarrollan programas internacionales cuyo ámbito de aplicación es la escala global. Ejemplos de estos programas son el Centro de Climatología de la Precipitación Global (Global Precipitation Climatology Center), coordinado por el Servicio de Meteorología Alemán con el apoyo de la Organización Meteorológica Mundial; o el Proyecto de Climatología de la Precipitación Global (Global Precipitation Climatology Project) con el apoyo del Programa Mundial de Investigación Climática (World Climate Research Program). Estos ambiciosos programas globales combinan datos de estaciones con datos de diversos sensores remotos, cuyos productos son de libre acceso vía Web.

Nuestro proyecto tiene un ámbito nacional y por ahora se inicia con la adquisición de datos de estaciones hidrometeorológicas. Sin embargo, este esfuerzo inicial fue concebido con la finalidad de incluir diversas fuentes de datos y desarrollar productos o servicios de fácil acceso a los usuarios.

Dos productos concretos, fundamentales, resultantes del desarrollo de este proyecto son la *base de datos* donde se almacenan los datos del repositorio y la aplicación *Argus* para el acceso a estos datos y a los productos.

El desarrollo de la base de datos, en las fases de diseño conceptual y lógico, contó con la participación de una ingeniero en computación y de una experta en bases de datos, con doctorado en el área y 26 años de experiencia. El diseño físico y la implementación de la base de datos fueron realizados por varios estudiantes de Ingeniería en Computación de la USB, como trabajo final de grado, para obtener el título de ingeniero, bajo la supervisión de la experta en bases de datos. La base de

datos implementada se cargó con datos provenientes de las diferentes instituciones recolectoras que respondieron a las solicitudes, los datos abarcan hasta el año 2000, aproximadamente.

Para consolidar los logros de este proyecto es necesario entregar esta base de datos al organismo competente que se encarga de la recolección de datos hidroclimáticos, el cual, por la nueva Ley de Meteorología e Hidrología Nacional. (Gaceta Oficial Nº 5.833 del 22 de diciembre de 2006), es el INAMEH, pues ha heredado las estaciones de recolección del Ministerio del Ambiente. Ese organismo deberá continuar con la carga sistemática y periódica de datos al repositorio, para mantenerlo actualizado con todos los datos recolectados en el país. De hecho, como posiblemente en algún momento todos los instrumentos pasarán a ser automáticos, será necesario establecer los mecanismos para alimentar esa base de datos directamente de los dispositivos de recolección electrónicos.

La aplicación *Argus* desde su diseño hasta la implementación de su prototipo, fue desarrollada por tres estudiantes de Ingeniería en Computación, este trabajo constituyó el proyecto de grado final, para obtener el título. El software construido de esta forma es útil para mostrar el potencial de la aplicación y del uso de los datos contenidos en el repositorio, pero por el tiempo dedicado a ello, a saber, tres trimestres de doce semanas cada uno, y la poca experiencia de los estudiantes, el prototipo, no está listo para ponerse en producción. Habría que llevar a cabo prácticas mas rigurosas de desarrollo de software, para convertir el prototipo en un software que se pueda poner en producción y admita muchos usuarios simultáneos.

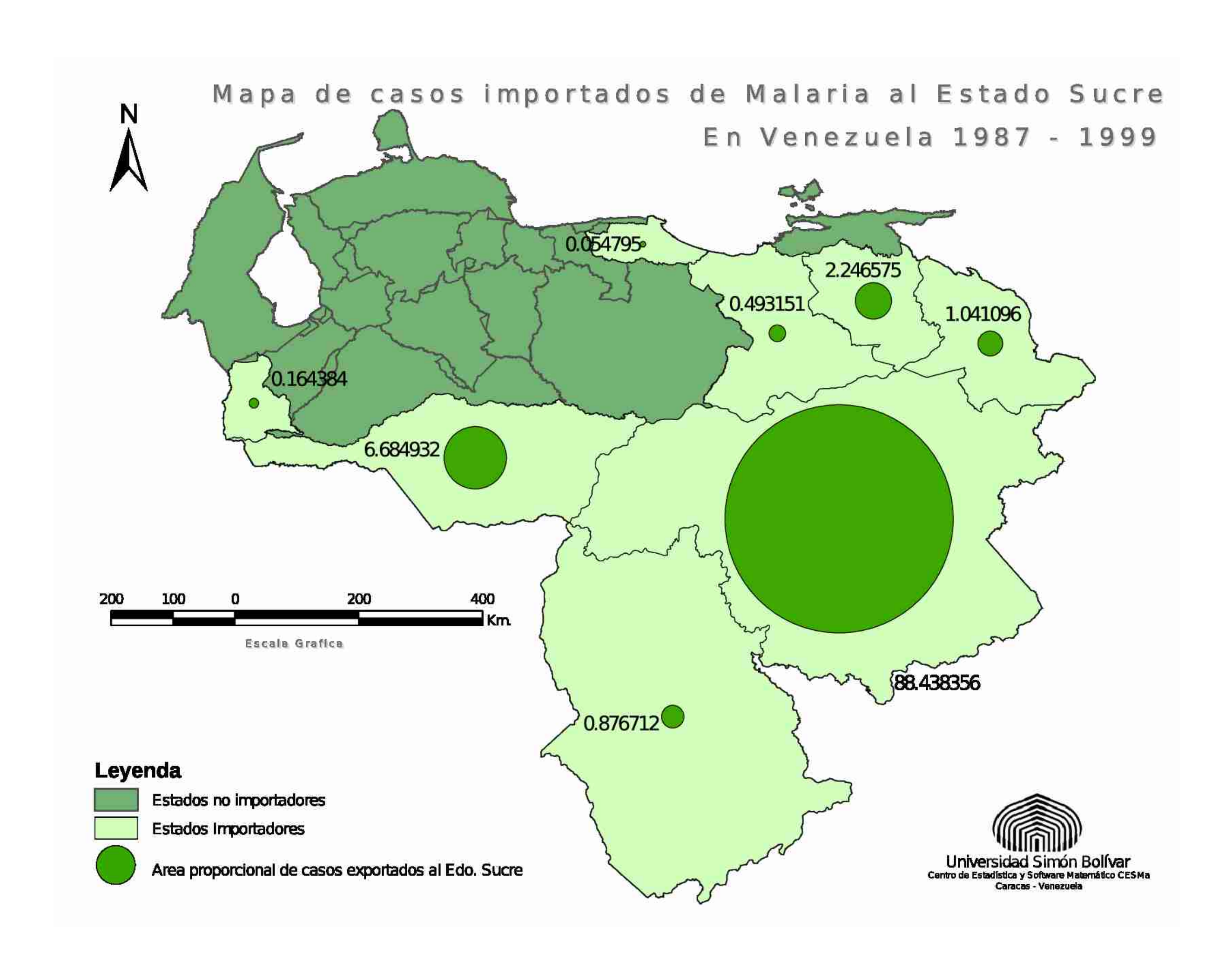
Una vez consolidado *Argus* como un producto de software estable, se puede poner en producción y se le puede entregar al organismo competente para su mantenimiento. Esta actividad de mantenimiento es un proceso constante de atención de posibles errores que se detecten en el funcionamiento de la aplicación, o de extensión de la funcionalidad del sistema. Por ser un software y una base de datos de gran envergadura, requieren de un equipo de personas calificadas que realicen la administración y el mantenimiento a lo largo del tiempo.

Finalmente los servicios de análisis de datos, aunque no fueron incorporados en *Argus*, fueron incluidos en el proyecto como aplicaciones concretas que también deben ser actualizadas en la medida en la que se reciba nueva información en la base de datos.

Concluimos este esfuerzo con la certidumbre de haber avanzado en nuestros propósitos, pero también con la incertidumbre de cómo continuar mejorando los productos obtenidos, para que se puedan alcanzar los objetivos inicialmente planteados, que no son más que una información hidroclimática de calidad y de fácil acceso para todos los usuarios e investigadores del país.

Esperamos que en un futuro cercano se presenten oportunidades para consolidar el repositorio y sus servicios, pues esto nos permitirá conocer más de cerca nuestro patrimonio ambiental, en momentos en los que la humanidad experimenta cambios importantes en el clima y en el ciclo hidrológico, como consecuencia de la variabilidad natural y de las actividades humanas. La organización de la información hidroclimática histórica es el primer paso para comprender los cambios ambientales que se han

producido. Sin este paso previo difícilmente estaremos preparados para enfrentar y adaptarnos a los cambios ambientales futuros, lo cuál incrementará nuestra situación de vulnerabilidad y riesgo.



Comentarios finales

Al hacer un balance de los resultados alcanzados por este proyecto, podemos decir que fue una experiencia muy enriquecedora pues nos brindó la oportunidad de trabajar conjuntamente con distintas disciplinas en las áreas de Computación, Estadística y Ciencias Ambientales. Con este trabajo demostramos la posibilidad de combinar el desarrollo de una base de datos y metadatos con el desarrollo de productos y servicios a través de una aplicación Web 2.0 como es la plataforma *Argus*.

Este esfuerzo debe continuarse, ya que los resultados obtenidos son apenas el inicio de los productos y servicios que pueden desarrollarse a partir de esta plataforma y que cubrirían serias deficiencias en la disponibilidad oportuna de la información climática por parte de un gran volumen de usuarios.

Para ello se requiere de un apoyo sostenido para el mantenimiento de la plataforma Web y la actualización de la base de datos, ya que la captación de la información hidroclimática es un proceso continuo que no debe detenerse, especialmente en las actuales circunstancias.

Ahora más que nunca los países requieren comprender las dimensiones de la variabilidad y el cambio climático que experimentan, para evaluar sus impactos a todos los niveles y emprender medidas efectivas de adaptación ante los inminentes cambios que estamos observando.



Contactos

Contacto	Afiliación	Correo electrónico
Lelys Bravo	Universidad Simón Bolívar, Centro de Estadística y Matemática Aplicada	lbravo@usb.ve
Soraya Abad Mota	Universidad Simón Bolívar, Centro de Estadística y Matemática Aplicada, Laboratorio de Bases de Datos	abadmota@usb.ve
Isabel Llatas	Universidad Simón Bolívar, Centro de Estadística y Matemática Aplicada	llatas@usb.ve
Abraham Salcedo	Universidad Central de Venezuela, Departamento de Hidrometeorología	salcedoa54@gmail.com
Laura Delgado	Universidad Central de Venezuela, Instituto de Ecología y Zoología Tropical	laura.delgado@ciens.ucv.ve
Santiago Ramos	Universidad Central de Venezuela, Instituto de Ecología y Zoología Tropical	santiago.ramos@ciens.ucv.ve
Karenia Córdova	Universidad Central de Venezuela, Instituto de Geografía y Desarrollo Regional	karenia.cordova@ucv.ve



Mapa de Relación de Población y Territorio

Estado Sucre - Venezuela

4.64%
3.7%
1.30%
5.75%5.91%
2.59%
3.14%
4.17%
1.62%
3.35%
3.23%
4.07%
2.53%
3.47%
1.67%
1.59%
2.09%
2.24%
2.26%
11.13%
5.07%
22.68%
3.78%
36.77%
12.15%
8.19%
6.7%
3.05%
N
10°30'42"N
64°9'47"W
63°39'47"W
63°9'47"W
62°39'47"W
62°9'47"W

50 25 0 50 Km

Escala gráfica

1:1,140,000
Escala absoluta

Datum horizontal: WGS 84 (SIRGAS - REGVEN)
Esferoide Internacional

Leyenda

Porcentaje de Habitantes y Territorio Municipal

Relacion de Población

Relacion de Territorio

Etiquetas en azul porcentaje de territorio municipal con respecto al estado Sucre.

Etiquetas en rojo porcentaje de población municipal con respecto al estado Sucre.



Universidad Simón Bolívar
Centro de Estadística y Software Matemático CESMa
Caracas - Venezuela

Realizado en el software ESRI ArcMap Versión 9.0
Raúl Ramírez rramirez@cesma.usb.ve

Agradecimientos

Agradecemos a todas las personas que ayudaron, contribuyeron y apoyaron desinteresadamente este proyecto multidisciplinario, HIDROX. Si tuviéramos que nombrar a todos los que permitieron que este proyecto sea una realidad, ¡correríamos el riesgo de deforestar el Amazonas completo!

Damos las gracias a Crishen Acosta por su dedicación durante estos años a la administración del proyecto y a la elaboración minuciosa y oportuna de todos los informes administrativos del mismo. También quisieramos agradecer al FONACIT, especialmente a la licenciada Terezinha Da Silva, por su paciencia y buenos consejos durante el desarrollo del proyecto.

Referencias

[1] Abad-Mota, S. y L. Bravo de Guenni: *A data model for Climate Data Curation*. En *Proceedings of the V International Symposium on Digital Libraries (V SIBD): Creating and Accessing Knowledge in the Digital era. University of New Mexico, Albuquerque.*, páginas 499–515. ISTEC, Inc., October 2009, ISBN 978-0-9842912-0-5.

[2] Abad-Mota, S., L. Bravo de Guenni, I. Llatas, J.L. Palacios, A. Salcedo, L. Delgado, K. Cordova y S. Ramos: *Desarrollo de un repositorio de datos hidroclimáticos para la gestión de riesgos epidemiológicos y ambientales*, 2005. Propuesta de Proyecto presentada ante el Fonacit, Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología de Venezuela, aprobada.

[3] Abbot, P.F.: *Guidelines on the quality control of surface climatological data*. Organización Meteorológica Mundial, Geneva, 1986. WMO Número 111.

[4] Abdelaal, R. y M. Elhadidy: *Modeling and forecasting the daily maximum temperature using adductive machine learning*. Weather Forecast, 10:310–325, 1995.

[5] Aguilar, V.H., L. Delgado, A. Camardiel, K. Córdova y S. Ramos: *Relación de las variaciones de la temperatura del Atlántico tropical sobre la incidencia de los casos de dengue en el estado Sucre, Venezuela periodo 2002-2006*. En *XIII Simposio de la Sociedad Expertos Latinoamericanos Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial SELPER*, 2008.

[6] Alexandersson, H.: *A homogeneity Test to Precipitation Data*. Journal of Climatology, 6:661–675, 1986.

[7] Alexandersson, H.: *An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids*. Journal of Climatology, páginas 661–675, 1986.

[8] Alfaro, E., F. Soley y D. Enfield: *Uso de tablas de contingencia para aplicaciones climaticas*. Informe técnico, Universidad de Puerto Rico, Tarragona, España., 2003.

[9] Barrera, R., M.E. Grillet, Y. Rangel, J. Berti y A. Aché: *Estudio eco-epidemiológico de la reintroducción de la malaria en el Nororiente de Venezuela, mediante sistemas de información geográfica y sensores remotos*. Boletín de la Dirección de Malariología y Saniamiento Ambiental, 38:14–30, 1998.

[10] Berroterán, J.L.: *Paisajes ecológicos de sabanas en llanos altos centrales de Venezuela*. Ecotrópicos, 1(2):92–10, 1988.

[11] Brunet, M. y P. Jones: *Data rescue initiatives: bringing historical climate data into de 21st century*. Climate Research, 47:29–40, 2011.

[12] Chacón-Moreno, E., J.K. Smith, A.K. Skidmore, H.H.T. Prins y A.G. Toxopeus: *Modeling spatial patterns of plant distributions as a consequence of hydrological dynamics processes in a Venezuelan flooding savanna*. Ecotrópicos, (2):55–73, 2008.

[13] Córdova, K.: *Impactos de las islas térmicas o islas de calor urbano, en el ambiente y la salud humana. Análisis estacional comparativo: Caracas, octubre-2009, marzo-2010*. Revista Terra, XXVII(42), 2011.

[14] Córdova, K., L. Delgado, V.H. Aguilar y D. Hernández: *Relación de la incidencia de la variabilidad climática (ENSO) en la ocurrencia de casos de malaria, estado Sucre, Venezuela con sistemas de información geográfica*. En *XIII Simposio de la Sociedad Expertos Latinoamericanos Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial SELPER*, 2008.

[15] Córdova, K., L. Delgado, J.L. Palacios y V.H. Aguilar: *Análisis de patrones climáticos de eventos ENSO mediante cadenas de Markov y modelos de grafos*. Revista Acta Científica Venezolana, 60(1-2):5–10, 2009.

[16] De Luís, M., J. Raventós, J.C. González-Hidalgo, J.R Sánchez y J. Cortina: *Spatial Analysis of Rainfall Trends in the Region of Valencia (East Spain)*. International Journal of Climatology, 20:1452–1469, 2000.

[17] Delgado, L.: *La dinámica espacio-temporal del sistema malaria en el foco Nororiental de Venezuela*. Acta. Biol. Venez., 25(1-2):57–66, 2005.

[18] Delgado, L. y K. Córdova: *Variabilidad climática y su importancia en el diseño de estrategias de prevención y control: caso particular malaria en el estado Sucre*, 2005. `http://opsu.sicht.ucv.ve/bvd/pdf/VARIAB-CLIMATICA-Laura~Delgado.pdf`, `http://www.ucv.ve/comir/pon_academicos.htm`.

[19] Delgado, L. y K. Córdova: *La importancia de la variabilidad climática en el manejo de enfermedades metaxénicas: malaria en el estado Sucre, Venezuela*. En *XI Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica (XI CONFIBSIG)*, 2007. `http://www.geogra.uah.es/inicio/web_11_confibsig/PONENCIAS/2-055~Delgado-Cordova.pdf`.

[20] Delgado, L., L. Gamboa y N. León: *Aspectos geográficos relacionados con un problema de salud pública: la malaria en el estado Sucre. Revista Terra*. Publicación del Instituto de Geografía y Desarrollo Regional, Universidad Central de Venezuela, XVI(25):80–93, 2000.

[21] Delgado, L. y S. Ramos: *The remote sensing perspective to focus landscape ecology, the anthropogenic action and the malaria disease*. En Space Applications, United Nations Programme on (editor): *Space Technology for E-health. Space Technology-based Telehealth project initiatives in Latin America and the Caribbean*, página 60. United Nations, New York, 2007.

[22] Delgado, L. y S. Ramos: *Ecoepidemiología panorámica: nuevos paradigmas para enfrentar las endemias rurales en América Latina*. En *Enfoques y Temáticas de Entomología*, páginas 115–136, 2009, ISBN 978-980-12-3750-1.

[23] Delgado, L., S. Ramos y A. Camardiel: *La malaria y su contexto espacial. el caso particular del estado Sucre en Venezuela*. En *XI Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica (XI CONFIBSIG)*, 2007.

[24] Delgado, L., S. Ramos, E. Gordon, N. Martínez, E. Zoppi, J. Berti y E. Montiel: *Nuevas perspectivas para el manejo de problemas de salud pública: caso particular la malaria*. Revista de la Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, 19(3):51–61, 2004.

[25] Delgado, L., S. Ramos y N. Martínez: *Antropogénesis y persistencia de malaria, estado Sucre-Venezuela*. En *XI Simposio Latinoamericano en Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial (SELPER). Santiago de Chile, Chile*, 2004.

[26] Delgado, L., S. Ramos, R. Rodríguez y L. Liberal: *Modelo espacial de la probabilidad de riesgo malárico en el estado Sucre, Venezuela*. Revista de la Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, 16(2):15–26, 2001.

[27] Delgado, M.D.: *Estimación del balance hídrico del río Caroní mediante un modelo conceptual*. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas, Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela, 2005.

[28] Delgado-Petrocelli, L., A. Camardiel, V.H. Aguilar, N. Martinez, K. Córdova y S. Ramos: *Geospatial tools for the identification a malaria corridor in estado Sucre, a Venezuelan north-eastern state*. Geospatial Health, 5(2):169–176, 2011.

[29] Delgado-Petrocelli, L., K. Córdova y S. Ramos: *Análisis espacial de focos de malaria y su relación con los patrones de temperatura superficial en la región endémica de la península de Paria, estado Sucre Venezuela*. En *XIV Simposio Internacional en Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial (SELPER)*. Universidad de Guanajuato, 2010, ISBN 978-607-441-100-3. http://www.selper-mexico.org.mx/portada_extensos.htm.

[30] Delgado-Petrocelli, L., D.N. Garcés, S. Ramos y F. Marichal: *Cambios en el uso actual de la tierra y cobertura vegetal en la península de Paria, estado Sucre, Venezuela y su Relación con la Incidencia Malárica*. En *XIV Simposio Internacional en Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial (SELPER)*. Universidad de Guanajuato, 2010, ISBN 978-607-441-100-3. http://www.selper-mexico.org.mx/portada_extensos.htm.

[31] Delgado-Petrocelli, L. y S. Ramos: *Epidemiología panorámica. Un modelo alternativo para la vigilancia y control basado en la geomática y la geoestadística*. En *XIV Simposio Internacional en Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial (SELPER)*. Universidad de Guanajuato, 2010, ISBN 978-607-441-100-3. http://www.selper-mexico.org.mx/portada_extensos.htm.

[32] Easterling, D.R., T.D. Peterson y T.R. Kharl: *An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids*. Journal of Climate, páginas 1429–1434, 1996.

[33] Elmasri, R. y S. Navathe: *Fundamentals of Database Systems*. Addison-Wesley, 2007.

[34] ESRI: *ArcGIS*. Environmental Scientific Research Institute, Redlands, California, 9.2 edición.

[35] Forman, R.T.T. y M. Godron: *Landscape Ecology*. John Wiley and Sons, New York, 1986.

[36] Garboza, A. y G. Tepedino: *Desarrollo de una aplicación Web 2.0 para datos hidroclimáticos*. Proyecto de Grado de Ingeniería en Computación, Universidad Simón Bolívar, 2007.

[37] Giannini, A., Y. Kushnir y Cane M.A.: *Interanual variability of the Caribbean Rainfall: ENSO and the Atlantic Ocean*. Journal of Climate, 13:297–311, 2000.

[38] González-Hidalgo, J.C., M. De Luís, J. Raventós y J.R. Sánchez: *Spatial distribution of Seasonal Rainfall Trends in a Western Mediterranean Area*. International Journal of Climatology, 21:843–860, 2001.

[39] Grillet, M. E., R. Barrera, J. E. Martínez, J. Berti y M. J. Fortin: *Disentangling the effect of local and global spatial variation on a mosquito-borne infection in a neotropical heterogeneous environment*. Am. J. Trop. Med. Hyg., 82(2):194–201, 2010.

[40] Guenni, L., E. Degryze y K. Alvarado: *Análisis de la Tendencia y la Estacionalidad de la Precipitación Mensual en Venezuela*. Revista Colombiana de Estadística, 31(1):41–65, 2008.

[41] Guenni, L. y M.F. Hutchinson: *Spatial Interpolation of the parameters of a rainfall model from ground-based data*. Journal of Hydrology, 213(1-4):335–347, 1998.

[42] Guevara, J.M.: *Métodos de estimación y ajuste de datos climáticos*. Universidad Central de Venezuela, 1987.

[43] Hoaglin, D., F. Mosteller y J. Tukey: *Fundamentals of Exploratory Analysis of Variance*. John Wiley and Sons, New York, 1991.

[44] Hutchinson, M.: *ANUSPLIN. User guide*. Center for Resource and Environmental Studies, The Australian National University, Canberra, 4.36 edición, 2002.

[45] Infante, S., J. Ortega y J. Cede no: *Estimación de datos faltantes en estaciones meteorológicas de Venezuela vía un modelo de redes neuronales*. Revista de Climatología, 8:51–70, 2008.

[46] Inmon, W.H.: *Building the Data Warehouse*. John Wiley and Sons, Inc., 2002.

[47] Kimball, R. y M. Ross: *The Data Warehouse Toolkit*. John Wiley and Sons, Inc., 2002.

[48] Marichal, F.: *Determinación de factores de riesgo para la transmisión del dengue en zonas altas mediante análisis geoespaciales. Estado Mérida, Venezuela. 2001–2009*. Tesis de grado para optar por la licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela, 2011.

[49] Martelo, M.T.: *Consecuencias Ambientales Generales del Cambio Climático en Venezuela*. Trabajo de Ascenso, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía. Maracay, Estado Aragua, 2004.

[50] Mitchell, T.D. y P.D. Jones: *An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids*. Int. J. Climatol., 25:693–712, 2005.

[51] Mitchell, T.D y R.G. Jones: *An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids*. Journal of Climatology, 25:693–712, 2005.

[52] New, M., D. Lister, M. Hulme y I. Makin: *A high-resolution data set of surface climate over global land areas*. Climate Research, 21:1–25, 2000.

[53] NOAA: *Earth System Research Laboratory, Physical Sciences Division. Climate Indices: Monthly Atmospheric and Ocean Time Series. (Consulta online, Marzo, 2009)*, 2009. `http://www.cdc.noaa.gov/data/climateindices/List/index.htm`.

[54] OMM: *Hechos Básicos acerca de la Organización Meteorológica Mundial*. `http://www.wmo.ch/index-sp.html`.

[55] OMM: *Reglamento técnico de la OMM - OMM Nro. 49*. Ginebra, Suiza, 1984.

[56] OMM: *Guia del Sistema Mundial de Observación*. Geneva, 2011. WMO Número 488.

[57] Organization, World Meteorological: *Guide to Climatological Practices, Third Edition*. http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/guide/documents/guide_third_edition_draft_may2007.pdf, May 2007.

[58] Perez-Trejo, F.: *Landscape response units: process based self organizing systems*. En *Landscape Ecology and GIS*, páginas 87–98. Taylor and Francis Ltd, London, 1993.

[59] Peterson, T.C., D.R. Estearling, T.R. Karl, P. Froisman, N. Nicholls, N. Plummer, S. Torok, I. Auer, R. Boehm, D. Gullett, L. Vicent, R. Heino, H. Tomenvirta, O. Mester, T. Szentimrey, J. Slinger, E. Forland, I. Hanssen-Bauer, H. Alexandersson, P. Jones y D. Parker: *Hmogeneity adjustments of in situ atmospheric climate data: a review*. Int. J. Climatol., 18:1493–1517, 1998.

[60] Poveda, G., P.R. Waylen y R.S. Pulwarty: *Annual and Inter-annual Variability of Present Climate in Northern South America and Southern Mesoamerica*. Palaeogeography, Palaeoclimatolgy, Palaeoecology, 234(1):3–27, 2006.

[61] Quality, American Society for: *Basic Concepts: Glossary*. Disponible en Internet: http://asq.org/glossary/index.html, 2011.

[62] Quintana-Gómez, R.A.: *Trends of Maximum and Minimum Temperature in Northern South America*. Journal of Climate, 12(7):2104–2112, 1999.

[63] R Development Core Team: *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2009. http://www.R-project.org, ISBN 3-900051-07-0.

[64] Rafanelli, M. (editor): *Multidimensional Databases: Problems and Solutions*. Idea Group Publishing, 2003.

[65] Ramos, S., L. Delgado-Petrocelli y I. Briceño: *Dinámica de recambio poblacional de anopheles aquasalis sobre el patrón del paisaje de los humedales de Paria, estado Sucre, Venezuela*. En *III Jornadas Argentinas de Ecología del Paisaje (III JAEP)*, página 15, 2011.

[66] Ribeiro, A.Y.: *Desarrollo del servicio para el repositorio web de datos hidroclimáticos. Módulo: Calidad de datos*, 2008. Tutores: Abad-Mota, S. y Llatas, I.

[67] Rodríguez, D., S. Ramos, L. Delgado Petrocelli L y V. Weinberger: *Análisis de la dinámica malárica sobre un gradiente geográfico en la península de Paria, estado Sucre, Venezuela, mediante un modelo de simulación que incluye las variaciones poblacionales del vector*. En *Memorias del XIV Simposio Internacional en Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial (SELPER), Guanajuato, México*, 2010, ISBN 978-607-441-100-3. http://www.selper-mexico.org.mx/Mesa8.htm.

[68] Rodriguez, L.M.: *Reestructuración y entonación de consultas en la aplicación Argus, sobre datos climáticos*. Proyecto de Grado de Ingeniería en Computación, Universidad Simón Bolívar, 2011.

[69] Saéz-Saéz, V., V.H. Aguilar y J.C. Pino: *Comparación entre los casos de malaria en venzuela y el índice de oscilacion del sur (ÍOS). Periodo 2000 a 2006*. Revista Terra, XXIV(35):63–84, 2008.

[70] Saéz-Saéz, V., J.C. Martínez, Y. Rubio-Palis y L. Delgado: *Evaluación semanal de la relación malaria, precipitación y temperatura del aire en la península de Paria, estado Sucre Venezuela*. Boletín de Malariología y Salud Ambiental, XLVII(2):177–189, 2007.

[71] Saladié, O., M. Brunet, E. Aguilar, J. Sigró y D. López: *Datos de Precipitación Mensual Ajustada del Sector Nor-Oriental de la Península Ibérica (1850-2000)*. Informe técnico, Universitat Rovira i Virgili, Tarragona, España., 2005.

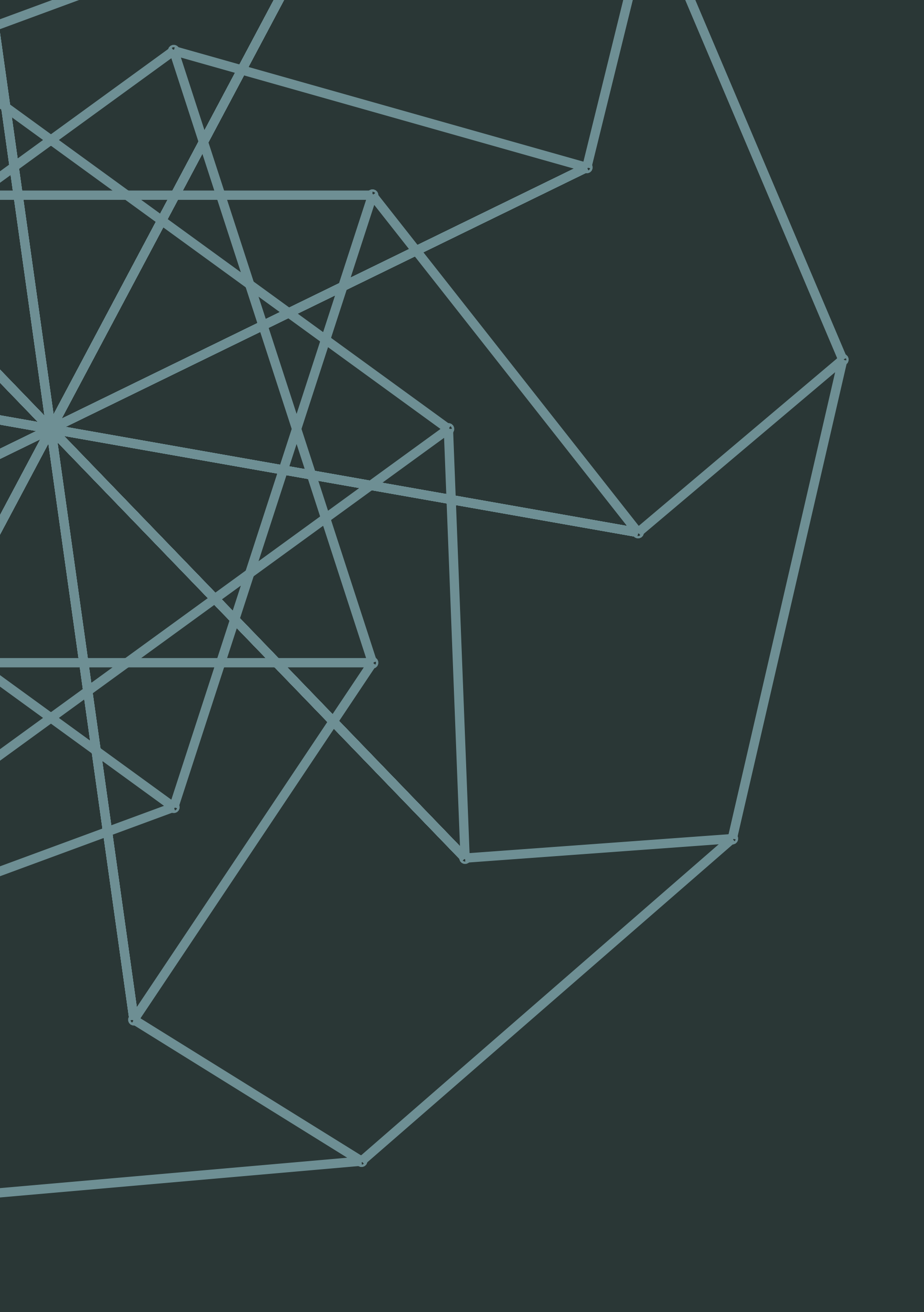
[72] Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor y H.L. Miller: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007. 996 pp.

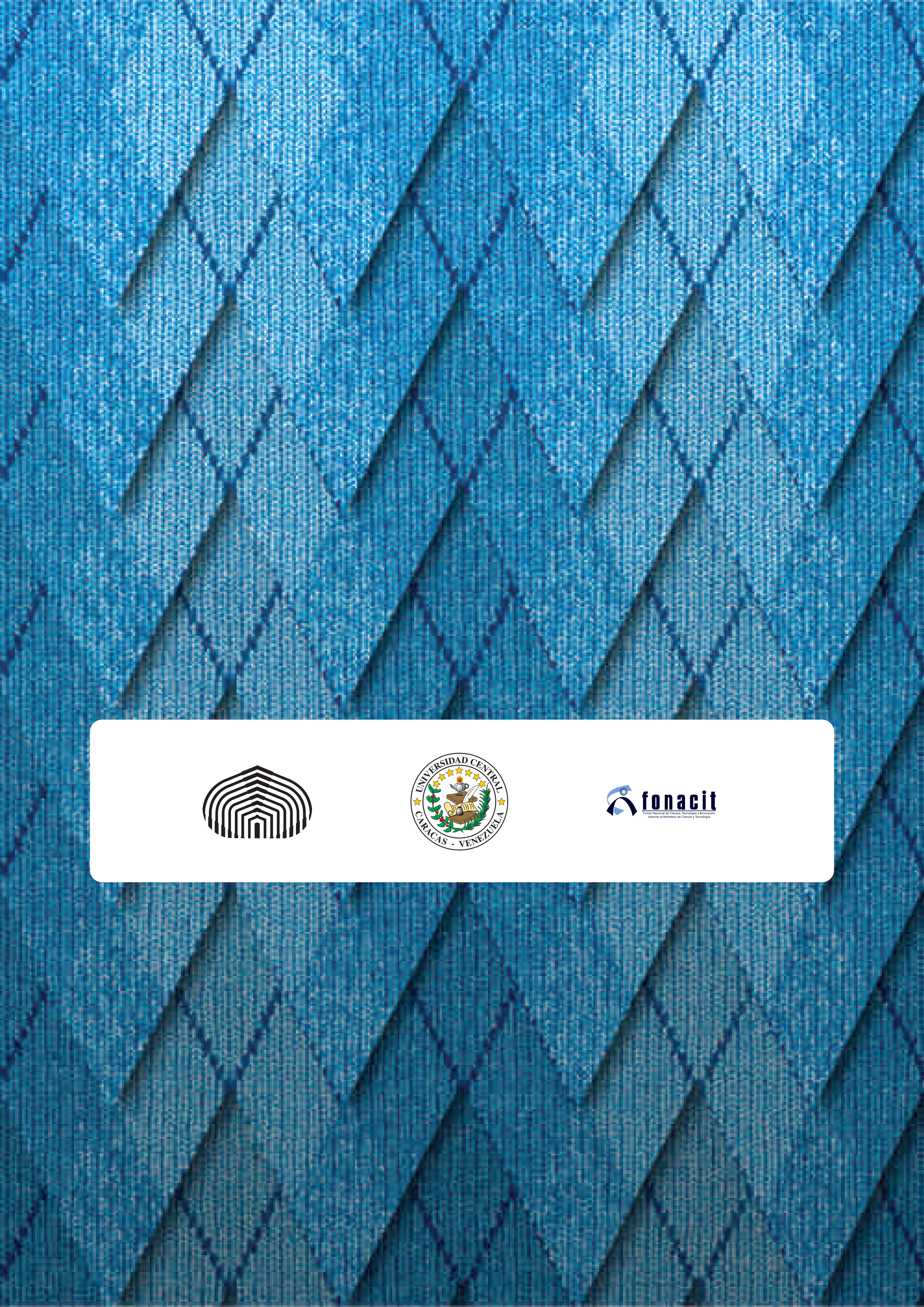
[73] Spaccapietra, C. Parentand S. y E. Zimányi: *Conceptual Modeling for Traditional and Spatio-Temporal Applications*. Springer, 2006.

[74] Venables, W. N. y B. D. Ripley: *Modern Applied Statistics with S*. Springer, New York, fourth edición, 2002. http://www.stats.ox.ac.uk/pub/MASS4, ISBN 0-387-95457-0.

[75] Von Bertalanffy, L.: *Teoría general de sistema*. Petropolis, Brasil. Edit. Vozes, 1976. http://suang.com.ar/web/wp-content/uploads/2009/07/tgsbertalanffy.pdf.

[76] Wahba, G.: *Spline models for Observational Data*. Series in Applied Mathematics 59, SIAM, Philadelphia, Pennsylvania, 1990.




UNIVERSIDAD CENTRAL
CARACAS - VENEZUELA
fonacit
Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación
Adscrito al Ministerio de Ciencia y Tecnología